

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І
МЕХАНОТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 644.681/.684

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ О.Ф. Луговський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності _____ 131 _____ Прикладна механіка
(код і назва спеціальності)

на тему: _____ Ультразвукова кавітаційна обробка молока _____

Виконав : студент 6 курсу, групи МА-62м
(шифр групи)

_____ Луппол Альберт Юрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ доц., к.т.н., Гришко І.А. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант охорона праці _____ ас., Ковтун А.І. _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____ н.с., к.б.н., Абдуліна Д.Р. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація загальним обсягом 97 сторінок, містить 41 ілюстрацію, 26 таблиць, 1 додаток та 53 джерела за переліком посилань.

Актуальність теми. Актуальність роботи пов'язана з пошуком альтернативних методів обробки молока та теоретичних основ для прогнозування результатів ультразвукової кавітаційної обробки молока.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках теми № 2047-р, згідно з номером державної реєстрації - № 0117U007179 та кодом КВНТД І.2 15.17.21 від 01.10. 2017 р. – «Система для ультразвукового кавітаційного очищення води».

Мета і завдання дослідження. Оскільки одним з основних факторів, що визначають вплив ультразвуку на рідину та процеси, що протікають в рідинах, є кавітація, тому метою магістерського дослідження є визначення ступіню впливу ультразвукової кавітаційної обробки на молоко, а саме, на здатність знезаражувати та гомогенізувати молоко. Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- Виконати аналіз існуючих відомостей про обробку молока ультразвуком;
- Теоретично дослідити здатність ультразвукової кавітації знезаражувати та гомогенізувати молоко;
- З теоретичних досліджень визначити рекомендовані параметри для експериментального стенду;
- Розробити експериментальну установку яка дасть можливість підтвердити результати аналітичного дослідження;
- Провести експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження є процес обробки молока за допомогою ультразвукового кавітатора.

Предмет дослідження – знезараження та гомогенізація молока ультразвуковою кавітацією.

Методи дослідження. Методи математичного моделювання, обчислювальні та натурні експерименти.

Наукова новизна результатів. Визначення енергії схлопування кавітаційного пухирця, визначення розподілу цієї енергії та визначення впливу цієї енергії на молоко за певних умов. Розробка математичної моделі, що здатна спрогнозувати результати обробки молока за певних умов.

Практичне значення результатів. Перевірена та підтверджена математична модель, що прогнозує результати обробки за певних параметрів оброблюємої рідини та безпосередньо кавітатора. Отримані теоретичні та практичні данні надають підстави можливого використання ультразвукової кавітаційної обробки молока на виробництві. Результати магістерського дослідження дають змогу провести попередній підбір та прогнозувати ефективність роботи кавітаційного обладнання, що полегшує роботу при проектуванні систем з кавітаційним проточним обладнанням.

Апробація результатів роботи. Основні положення магістерської дисертації були висвітлені на XXII міжнародній науково-технічній конференції “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”, м. Київ, НТУУ «КПІ ім Сікорського», 2017 р., на всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів "Інновації молоді - машинобудуванню", м. Київ, НТУУ «КПІ ім Сікорського», 2017 р., також на XVIII міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления», м. Гомель ГГТУ ім. Сухого, 26-27 квітня 2018, і на всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених та студентів "Інновації молоді - машинобудуванню", м. Київ, НТУУ «КПІ ім Сікорського», 2018 р.

Публікації. За матеріалами магістерської дисертації було опубліковано 4 праці, а саме 4 тези доповідей на міжнародних конференціях.

КАВІТАЦІЯ, УЛЬТРАЗВУК, ОБРОБКА МОЛОКА, ГОМОГЕНІЗАЦІЯ, ПАСТЕРІЗАЦІЯ, ЕНЕРГІЯ СХЛОПУВАННЯ, КАВІТАЦІЙНИЙ ПУХИРЕЦЬ.

ABSTRACT

Master's dissertation with the total volume of 97 pages, contains 41 illustrations, 26 tables, 1 supplement and 53 sources under the list of references.

Actuality of theme. The urgency of work is related to the search for alternative methods of milk processing and the theoretical basis for predicting the results of ultrasonic cavitation milk processing.

Relationship of work with scientific programs, plans, themes. The work was carried out within the framework of theme № 2047-p, according to the state registration number - No. 0117U007179 and the code KVNTD I.2 15.17.21 dated 01.10. 2017 - "System for ultrasonic cavitation water treatment".

The purpose and tasks of the study. Since one of the main factors determining the effect of ultrasound on the fluid and processes occurring in liquids is cavitation, the purpose of the master's study is to determine the degree of influence of ultrasonic cavitation treatment on milk, namely, the ability to disinfect and homogenize milk. To achieve the goal, the following objectives were formulated:

- Perform an analysis of existing information on milk processing by ultrasound;
- Theoretically, investigate the ability of ultrasonic cavitation to disinfect and homogenize milk;
- From theoretical studies to determine the recommended parameters for the experimental stand;
- Develop an experimental installation that will provide an opportunity to confirm the results of analytical research;
- Conduct experimental studies.

The object of research is the process of milk processing using an ultrasonic cavitator.

The subject of research - disinfection and homogenization of milk by ultrasound cavitation.

Research methods. Methods of mathematical modeling, computational and natural experiments.

Scientific novelty of the results. Determination of the energy of collapse of the cavitatus, determining the distribution of this energy and determining the effect of this energy on milk under certain conditions. Development of a mathematical model that can predict the results of milk processing under certain conditions.

The practical value of the results. A mathematical model that predicts the results of processing for certain parameters of the treated fluid and the cavitator directly is checked and

confirmed. The obtained theoretical and practical data provide the basis for the possible use of ultrasonic cavitation milk processing in the production. The results of the master's study make it possible to pre-select and predict the effectiveness of the cavitation equipment, which facilitates the design of systems with cavitation flow equipment.

Approval of the results of work. The main provisions of the master's dissertation were highlighted at the XXII International Scientific and Technical Conference "Hydroaeromechanics in Engineering Practice", Kyiv, NTUU "KPI named Sikorsky", 2017, at the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students "Innovations of Youth - Mechanical Engineering ", Kyiv, NTUU " KPI named Sikorsky ", 2017, also at the XVII International scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists "Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management ", Gomel GGTU named Suchoi, April, 26-27, 2018, and at the All-Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students "Innovations of Youth in Machine-Building", Kyiv, NTUU "KPI named Sikorsky", 2018

Publications On the basis of the materials of the master's dissertation 4 works were published, namely 4 theses of reports at international conferences.

CAVITATION, ULTRASOUND, MILK PROCESSING, GOMOGENIZATION,
PASTERERATION, ENERGY OF CALAPSING, CAVITATION MODELLING.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация общим объемом 97 страниц, содержит 41 иллюстрацию, 26 таблиц, 1 приложение и 53 источников по перечню ссылок.

Актуальность темы. Актуальность работы связана с поиском альтернативных методов обработки молока и теоретических основ для прогнозирования результатов ультразвуковой кавитационной обработки молока.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнялась в рамках темы № 2047-р, согласно номером государственной регистрации - № 0117U007179 и кодом КВНТД I.2 15.17.21 от 01.10. 2017 - «Система для ультразвуковой кавитационной очистки воды».

Цель и задачи исследования. Поскольку одним из основных факторов, определяющих влияние ультразвука на жидкость и процессы, протекающие в жидкостях, является кавитация, поэтому целью магистерской исследования является определение степени влияния ультразвуковой кавитационной обработки на молоко, а именно, на способность обеззараживать и гомогенизировать молоко. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- Выполнить анализ существующих сведений об обработке молока ультразвуком;
- Теоретически исследовать способность ультразвуковой кавитации обеззараживать и гомогенизировать молоко;
- Из теоретических исследований определить рекомендуемые параметры для экспериментального стенда;
- разработать экспериментальную установку которая даст возможность подтвердить результаты аналитического исследования;
- провести экспериментальные исследования.

Объектом исследования является процесс обработки молока с помощью ультразвукового кавитатора.

Предмет исследования - обеззараживание и гомогенизация молока ультразвуковой кавитацией.

Методы исследования. Методы математического моделирования, вычислительные методы и натурные эксперименты.

Научная новизна. Определение энергии схлопывание кавитационного пузырька, определения распределения этой энергии и определения влияния этой энергии на молоко при определенных условиях. Разработка математической модели, которая способна спрогнозировать результаты обработки молока при определенных условиях.

Практическое значение результатов. Проверена и подтверждена математическая модель, прогнозирует результаты обработки при определенных параметрах обрабатываемой жидкости и непосредственно кавитатора. Полученные теоретические и практические данные предоставляют основания возможного использования ультразвуковой кавитационной обработки молока на производстве. Результаты магистерского исследования позволяют провести предварительный подбор и прогнозировать эффективности работы кавитационного оборудования, облегчает работу при проектировании систем с кавитационным проточным оборудованием.

Апробация результатов работы. Основные положения магистерской диссертации были освещены на XXII международной научно-технической конференции "Гидроаэромеханика в инженерной практике", г. Киев, НТУУ «КПИ им Сикорского», 2017, на всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и студентов "Инновации молодежи - машиностроению", г. Киев, НТУУ «КПИ им Сикорского», 2017, а также на XVIII международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления», г. Гомель ГГТУ им. Сухомлина, 26-27 апреля 2018, и на всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и студентов "Инновации молодежи - машиностроению", г. Киев, НТУУ «КПИ им Сикорского», 2018

Публикации. По материалам магистерской диссертации было опубликовано 4 работы, а именно 4 тезисов докладов на международных конференциях.

КАВИТАЦИЯ, УЛЬТРАЗВУК, ОБРАБОТКИ МОЛОКА, ГОМОГЕНИЗАЦИИ, ПАСТЕРИЗАЦИЮ, ЭНЕРГИЯ СХЛОПЫВАНИЕ, КАВИТАЦИОННЫЕ ПУЗЫРЕК.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: «Ультразвукова кавітаційна обробка молока»

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВСТУП	15
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА	18
1.1. Знезараження ультразвуком	18
1.2. Гомогенізація ультразвуком	20
1.3. Вплив ультразвукової обробки молока на вітамін С	22
Висновки по розділу та задачі	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ТА ПАСТЕРІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ	23
2.1. Розрахунок енергії необхідної для руйнування жирових кульок	23
2.2 Розрахунок енергії необхідної для дезінтеграції мікробних клітин	24
2.3 Розрахунок енергії що виділяється при ультразвуковій кавітаційній обробці	29
2.4 Розподілення енергії при схлопуванні кавітаційного пухирця	42
Висновки по розділу	44
РОЗДІЛ 3 . ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	45
3.1 Моделювання процесу обробки молока	45
3.2 Опис експериментальної установки	51
3.3.Методика проведення експериментів та результати іспитів	55
Висновки по розділу	56
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ	58
4.1. Ідея проекту	61
4.2 Технології застосовані в проекті	62
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту	63
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	70
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	73
Висновки по розділу	76
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	77
5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при роботі	77
5.2 Мікроклімат	78

5.3 Освітлення	79
5.4 Електробезпека	81
5.5 Шум	82
5.6 Оцінка пожежної обстановки під час аварії на вибухонебезпечному об'єкті	83
5.7 Пожежна безпека	84
Висновки по розділу	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТОК А. ВІДОМОСТІ ПРО БАКТЕРІЇ В МОЛОЦІ	91

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$E_{\text{пов}}$ – енергія поверхневого натягу;

σ - коефіцієнт поверхневого натягу;

S – площа поверхні розділу;

A – робота по переміщенню молекули з середини рідини жирової кулі на її поверхню;

E_{min} – мінімальна енергія необхідна для руйнування жирової кульки;

D – діаметр жирової кульки;

r – радіус пори;

h – товщина мембрани / безрозмірна відстань до пухирця, що схлопується;

Δp – надлишковий тиск;

$p(h/2)$ – тиск, що сприяє розширенню пори;

$p(r)$ – тиск, що сприяє зтисненню пори;

$E(r)$ – енергія кромки пори;

γ – лінійний натяг;

r^* - критичне значення радіусу пори;

E^* - критичне значення енергії пори;

p – тиск в рідині, зовні пухирця;

$p_{\text{н}}$ – тиск насиченого пару;

R – радіус пухирця;

R_0 – радіус зародку кавітаційного пухирця / початковий радіус пухирця;

$p_{\text{г}}$ – тиск газу усередині пухирця;

p_0 – гідростатичний тиск;

$R_{\text{кр}}$ – критичне значення радіусу пухирця;

$p_{\text{кр}}$ – критичне значення тиску;

$p_{\text{г.кр}}$ – критичне значення тиску газу в пухирці;

$R_{\text{рез}}$ - резонансний радіус бульбашки;

γ_a – показник адіабати;

f – частота коливань;

R_{min} – мінімальний радіус кавітаційного пухирця;

E – енергія, що виділяється при схлопуванні кавітаційного пухирця;

W – потужність;

N – кількість пухирців / кількість ламп;

t – час;

n – кількість пухирців, що схлопуються в активному об'ємі одночасно / кількість ламп;
 V_a – активний об'єм;
 H – довжина патрубку кавітатора;
 πR^2 – площа поперечного перерізу патрубку кавітатора;
 V – об'єм;
 N_m – кількість схлопувань в одиниці об'єму молока;
 V_0 – об'єм рідини на один кавітаційний пухирець;
 N_0 – необхідна кількість пухирців для знезараження;
 F – світловий потік;
 E – нормована мінімальна освітленість;
 S – площа освітлювального приміщення;
 Z – відношення середньої освітленості до номінальної;
 K – коефіцієнт запасу;
 n – коефіцієнт використання;
 I – індекс переміщення;
 h – розрахункова висота підвіс;
 A – ширина приміщення;
 B – довжина приміщення;
 R_I – радіус зони 1;
 R_{II} – радіус зони 2;
 Q – потужність вибуху в тротиловому еквіваленті;
 $R_{\phi 2}$ – ступінь руйнування.

ВСТУП

Коров'яче молоко входить в раціон людини вже кілька тисячоліть. Його навчилися видобувати ще до одомашнення корів. Сьогодні коров'яче молоко більш поширене, ніж молоко багатьох інших тварин. Це обумовлено його високими смаковими і поживними властивостями. За багатством та різноманітністю свого хімічного складу коров'яче молоко перевершує будь-які інші продукти харчування. До складу коров'ячого молока входять близько 50 різних мікро- і макроелементів. Основними мінеральними речовинами, що містяться в коров'ячому молоці є магній, кальцій, фосфор, калій, сірка і хлор. Жир і білок, що містяться в коров'ячому молоці, є джерелом енергії для організму, а також будівельним матеріалом для клітин. [33]

Довгий час на протязі історії наявність коров'ячого молока в будинку було показником високого достатку. Але це завжди було пов'язане з незручностями утримки корови, тому що молоко занадто швидко скисало. Спочатку молоко кип'ятили для знезараження і більш тривалого зберігання, як власне зараз і відбувається в селах. З'явилися перші апарати для обробки молока: машини в яких при протіканні крізь патрубок молоко доводилось до кипіння, а потім охолоджувалось. Ці машини можна назвати прадідами сучасних пастеризаторів молока. Але досить швидко люди помітили величезну різницю в смакових якостях сирого і кип'яченого молока, це обумовлено тим, що під час кип'ятіння відбувається розкладання білків, змінюються деякі солі, змінюється кислотність а також руйнуються окремі види амінокислот. Тоді збагнули, що сутність проблеми у самому процесі кипіння молока, пастеризатори зробили герметичними та підтримували в них високий тиск для запобігання процесу кипіння. Тобто молоко доводили до температури при якій гинуть бактерії, але не доводили до кипіння. Так вдалося забезпечити достатньо довге зберігання молока для транспортування в міста достатніми обсягами, щоб забезпечити ним більшість городян. Але молоко все ж було недостатньо дешевим, тому що перші пастеризатори були дуже дорогими машинами з величезними затратами енергії на нагрівання та охолодження.

Згодом науково-технічний прогрес дійшов до того, що виготовлення пастеризаторів стало не складним ділом, вдалося виробити найкращі технології знезараження, набрати значну статистику хімічного, бактеріологічного складів молока, вдосконалити обладнання, використати схеми економії енергії, такі, наприклад, як рекуперація тепла, і таким чином вдалося значно здешевити та покращити якість знезараження молока. Так людство дійшло до сучасних пастеризаторів.[34]

Однак тести з людьми показали, що організм людини засвоює лише 40% від поживної цінності молока. Це відбувається тому, що для засвоєння молока необхідне певне співвідношення білків та жирів в одиниці об'єму, а цьому співвідношенню відповідає лише 40% молока. На інші 60% припадають жирові шарики розміром більше 2мкм та зони без жиру. Таким чином потрібно було розбити занадто великі жирові шарики на менші, щоб змістити жир з зон його концентрації у зони де його не вистачає для засвоєння. Це призвело до появи процесу гомогенізації молока – протискування молока під великим тиском крізь малу щілину, що призводить до руйнування великих бульбашок жиру на малі та розподілення їх по об'єму.[35]

Таким чином зараз ми маємо молоко на полицях магазинів в кожній точці світу 95% якого засвоюється організмом. Технології знезараження дійшли до того, що молоко може зберігатися до півроку. Ціна на молоко впала на стільки, що зараз його може не тільки дозволити кожен, але навіть важко представити сучасність без цього продукту.[35]

Коли проблеми виживання вирішені стають питання якості життя. Саме тому вчені задалися питаннями: чи дійсно ми отримуємо все корисне, що є в молоці одразу після доїння? чи не існує більш економічного способу пастеризації та гомогенізації молока? Провівши серію дослідів, зробили значні висновки: під час нагріву знищується весь вітамін С, а кальцій і фосфор переходять в нерозчинні сполуки, які не засвоюються організмом людини. Також провівши економічний аналіз заключили, що значну частину від ціни молока займає амортизація все ще порівняно дорогого обладнання та затрати на нагрів молока та підтримку високого тиску особливо в процесі гомогенізації. Саме цьому постали питання в альтернативних методах обробки молока. Коли експерименти з ультрафіолетовою обробкою показали неможливість застосування цього методу, тому що УФ випромінювання має незначну проникливу здатність та знижує вміст вітаміну С, увага вчених зосередилась на ультразвуковій обробці молока.[36,37,38]

Оскільки одним з основних факторів, що визначають вплив ультразвуку на рідину та процеси, що протікають в рідинах, є кавітація, необхідно дослідити вплив ультразвукової кавітаційної обробки на молоко, а саме, на здатність знезаражувати та гомогенізувати молоко. Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- Виконати аналіз існуючих відомостей про обробку молока ультразвуком;
- Теоретично дослідити здатність ультразвукової кавітації знезаражувати та гомогенізувати молоко;
- З теоретичних досліджень визначити рекомендовані параметри для експериментального стенду;

- Розробити експериментальну установку яка дасть можливість підтвердити результати аналітичного дослідження;
- Провести експериментальні дослідження.

.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ НА МОЛОКО

Аналіз літератури з цього питання привів до висновку, що основний вплив полягає у подрібненні жирових шариків та знищенні бактерій присутніх в молоці.

Найбільш повно вплив ультразвукової кавітаційної обробки на молоко досліджено в роботах Хмелева [1;2], Попової [1], Скиби [2], Зверева [3], Лобанова [3], Макеева [3]. Якщо узагальнити дані, отримані в цих роботах, то можна відзначити наступне.

1.1. Знезараження ультразвуком

Ультразвукова обробка молока дозволяє забезпечити холодну стерилізацію молока, при якій значно зменшується кількість хвороботворних бактерій. [1] Тривалість озвучування, необхідна для досягнення ефектів пастеризації та стерилізації знижується при збільшенні потужності ультразвукового впливу і зменшення обсягу оброблюваного молока.

Згідно з вимогами санітарних норм в пастеризованому молоці кількість анаеробних і факультативних анаеробних мікроорганізмів (КМАФАМ) допускається не більше $5 \cdot 10^4$ КУО/см³ для пастеризованого в пляшках і пакетах групи А, не більше $1 \cdot 10^5$ КУО/см³ - для групи Б і не більше $2 \cdot 10^5$ КУО/см³ – для пастеризованого у флягах і цистернах. В стерилізованому молоці загальна кількість бактерій в 1мл повинно бути не більше 100 КУО/см³.

Ефект пастеризації спостерігався через 11, 6 і 7хв для потужностей 90, 120 і 150Вт відповідно, при обробці в об'ємі 240мл. При зниженні об'єму необхідний для досягнення пастеризації час озвучування склав 9, 6 і 5хв для об'єму 160мл і 4, 3, і 2хв - для об'єму 80мл при тих же потужностях. Таким чином, при зменшенні об'єму в 3 рази, тривалість ультразвукової обробки для досягнення пастеризації скорочується приблизно в 3 рази (Рис 1.1).

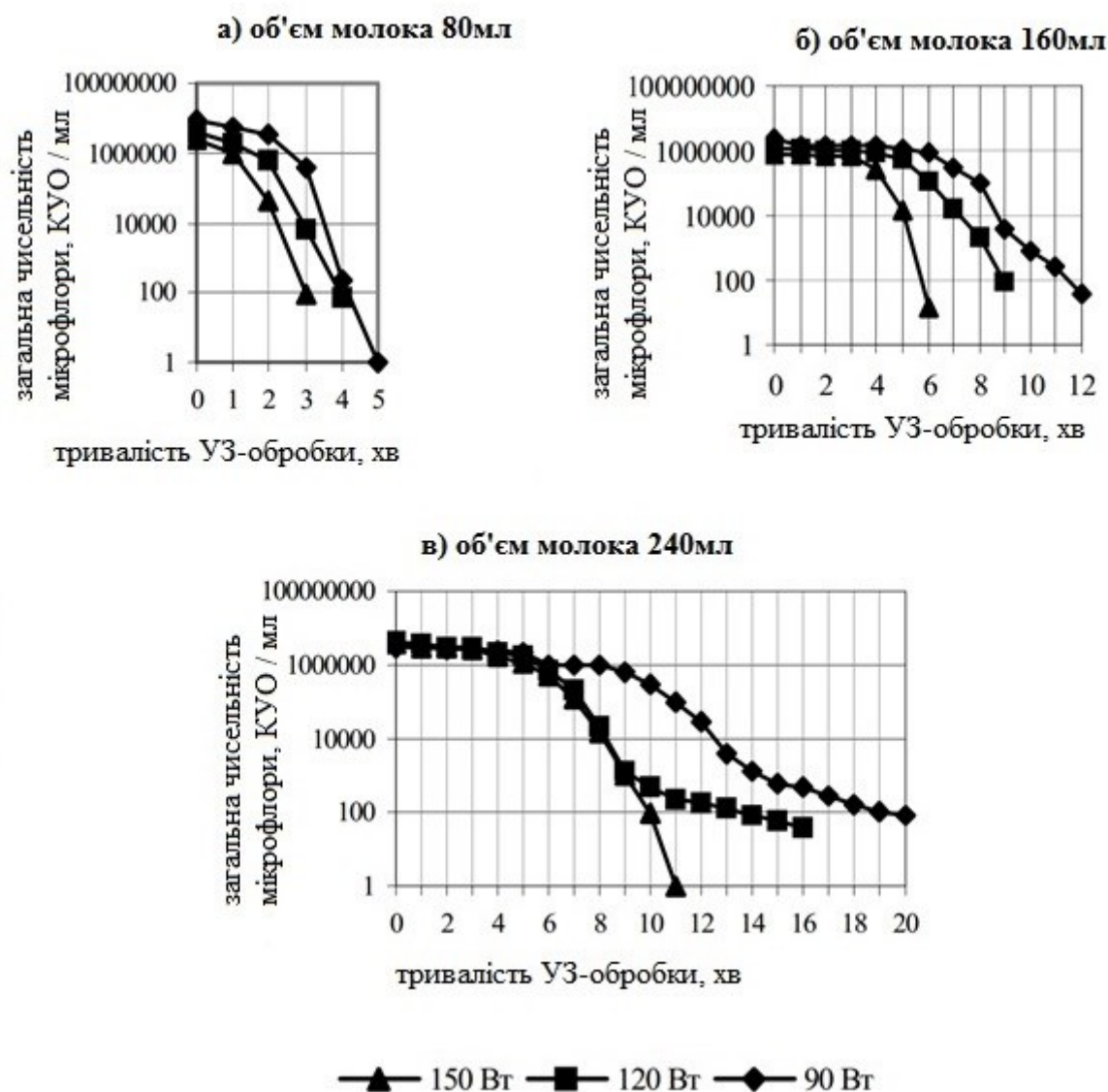


Рис 1.1 Динаміка зниження загальної чисельності мікроорганізмів в процесі ультразвукової обробки в залежності від потужності ультразвукових коливань та обсягу оброблюваного молока.

Відзначимо, що для виробництва стерилізованого молока методом ультрависокої температурної обробки використовується молоко з бактеріальним обсіменінням по редуказній пробі не нижче I класу, а в досліді було використано молоко I-III класів. [2]

У молочній промисловості ефективність пастеризації контролюється пробою на пероксидазу з хлоридом парафенилендіаміну. Метод аналізу досить простий, чутливість методу дозволяє виявити додавання 5% не пастеризованих молочних продуктів до пастеризованих при температурі не менше 80°C [4].

Проба на пероксидазу проводилась у всіх експериментах, і, в тих випадках, коли загальне обсіменіння відповідало вимогам, що пред'являють до пастеризованого і

стерилізованого молока, проба давала негативний результат, таким чином, метод дозволяє об'єктивно оцінювати ефективність пастеризації за допомогою ультразвуку.

Відзначимо, що при потужності ультразвукових коливань 90Вт в обсягах 240 і 160мл молока ефект пастеризації досягався трохи раніше, ніж інактивація пероксидази; а температура молока після ультразвукової обробки у всіх дослідах була нижче 80⁰С (і становила від 64 до 77⁰С). Тобто при озвучуванні молока пероксидаза розкладається швидше, ніж при термічній обробці. [2]

Досліди Скиби підтверджують, розширюють та деталізують результати дослідів що були проведені Хмелєвим і Ползуновою. Хмелєв і Ползунова відзначають наступне: дослідження бактерицидної дії ультразвуку на мікрофлору молока в залежності від тривалості обробки 250 мл сирого молока свідчить про те, що за 8 ... 10 хвилин обробки ступінь обсіменіння знижується до норми (менше 200000 КУО в 1 мл.) (Табл. 1.1).[1]

Таблиця 1.1.

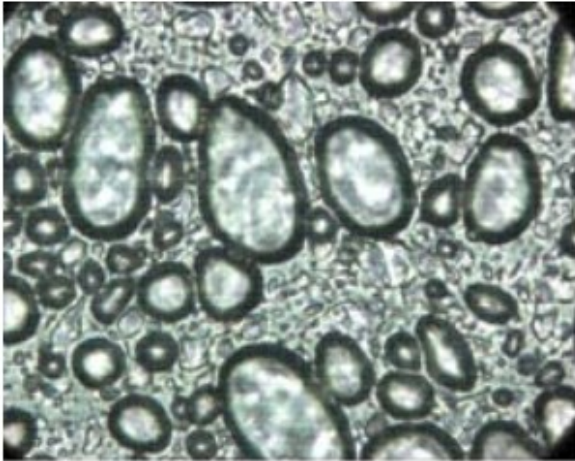
Бактеріцидна дія ультразвуку при обробці молока

Тривалість обробки, хв.	Кількість бактерій в 1 мл молока
0 (контроль)	610000
2	460000
4	410000
6	340000
8	170000
10	80000

1.2 Гомогенізація ультразвуком

Ультразвуковий вплив на потік призводить до того, що жирові кульки дробляться до величини 1,05-1,64 мкм, рівномірно розподіляючись в товщі рідкої фази продукту і течуть далі, не створюючи жирових скупчень (рис 1.2).[3]

Молоко до УЗ обробки



Молоко після УЗ обробки



Рис 1.2. Фотознімок молока до та після УЗ обробки

Результати ультразвукової обробки 500 мл молока протягом 10 хвилин при різних температурах наведені в табл.1.2. Представлені результати свідчать, що оптимальним слід вважати обробку молока при температурі 55 ... 70 градусів Цельсія, що дозволяє отримувати більш 80% від загального числа жирових кульок розміром менше 2 мкм.[1]

Таблиця 1.2.

Результати ультразвукової обробки молока

Температура молока, град. С	Кількість жирових кульок, розміром менш ніж 2 мкм (відсотковий вміст)	
	Контроль	УЗ обробка
15	48	75
25	50	73
35	49	72
45	49	70
55	52	80
65	50	90
70	52	88

2.1. Вплив ультразвукової обробки молока на вітамін С

При ультразвукової обробці молока не відбувається руйнування найбільш лабільною частини вітаміну С і його зміст залишається практично рівним вихідному – 0,83 мг (пастеризація паром знижує концентрацію вітаміну С до 0,65 мг, інфрачервоним випромінюванням – до 0,75 мг, кип'ятіння – практично повністю руйнує вітамін С).

Висновки по розділу та задачі

Проведений аналіз показує, що існує можливість використовувати ультразвукову обробку для знезараження та гомогенізації молока, при цьому не втрачаючи вітамін С, не затратати кошти на нагрів, охолодження та протискування молока крізь щілину, а також на дороге обладнання для цього.

Показана принципова здатність знезараження молока за допомогою ультразвуку, але дослідження були проведені лише для замкнутого об'єму молока. Враховуючи, що такий тип виробництва не є продуктивним, необхідно дослідити процес знезараження у потоці.

Також необхідно дослідити процес гомогенізації молока у потоці без попереднього нагріву.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ТА ПАСТЕРІЗАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКУ

При дослідженні процесу гомогенізації та пастеризації за допомогою ультразвукової кавітаційної обробки необхідно визначитися з тим, що необхідно для успішного протікання цих технологічних операцій, та порівняти це з тим що здатна дати кавітаційна обробка.

Отже розглянемо процес знезараження та гомогенізації з точки зору енергії. Тобто для того щоб гомогенізувати деякий об'єм молока необхідно кожній з жирових кульок, що знаходяться у цьому об'ємі та більшому ніж 2 мкм, передати енергію більшу за енергію руйнування цієї кульки. Подібним образом будемо досліджувати процес знезараження, але в пастеризації замість енергії руйнування жирової кульки беремо енергію необхідну для руйнування біологічних клітин. Після цього знаходимо умови ультразвукової обробки за яких при схлопуванні каверни виділяється достатньо енергії для руйнування як жирових кульок, так і клітин.

2.1. Розрахунок енергії необхідної для руйнування жирових кульок

На поверхнях розділу двох незмішуваних рідин виникають сили, бумовлені різною міжмолекулярною взаємодією різних середовищ: перш за все водневими зв'язками і слабшими неполярними взаємодіями.[9]

Молекули всередині рідини оточені з усіх боків такими ж молекулами (рис. 2.1б), тому сили тяжіння з боку сусідів компенсовані. Векторна сума сил тяжіння з боку сусідів дорівнює 0 – молекула знаходиться в рівновазі. Молекули, розташовані поблизу поверхні в деякому тонкому поверхневому шарі (рис. 2.1а), знаходяться в умовах, відмінних від умов всередині тіла: молекули ж поблизу поверхні мають однакових з ними сусідів лише з трьох сторін. Тому сили тяжіння з боку сусідів не компенсовані, а значить, на неї діє некомпенсована сила, спрямована всередину рідини. Через це молекула прагне перейти туди ж, вглиб. При цьому поверхня рідини прагне меншитися.[9]

Це призводить до того, що енергія молекул в поверхневому шарі відмінна від їхньої енергії всередині тіла. Різниця між енергією всіх молекул поблизу поверхні розділу і тією енергією, яку ці молекули мали б, якщо б вони перебували всередині тіла, називається поверхневою енергією.[9]

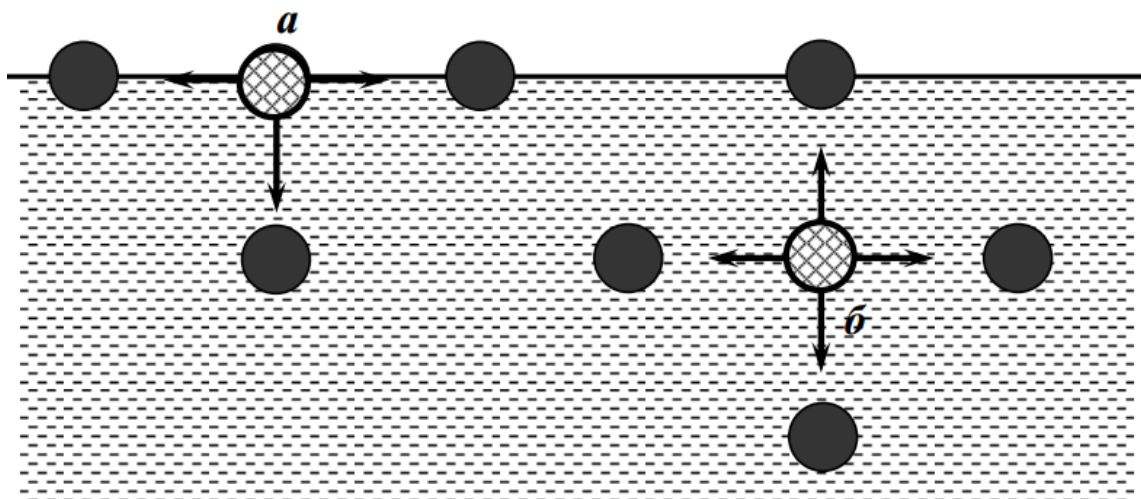


Рис 2.1. Схема взаємодії молекул зі своїми сусідами: а – молекула, розташована поблизу поверхні в деякому тонкому поверхневому шарі, взаємодіє з такими ж молекулами тільки з трьох сторін; б – молекула всередині рідини оточена з усіх боків такими ж молекулами

Очевидно, що поверхнева енергія $E_{\text{пов}}$ пропорційна площі S поверхні розділу:

$$E_{\text{пов}} = \sigma \cdot S \quad (2.1)$$

Коефіцієнт σ (грецька буква «сигма») називається коефіцієнтом поверхневого натягу і залежить від природи дотичних середовищ і від їх стану.[9]

Для переміщення молекул з рідини на її поверхню потрібно виконати роботу A , яка по модулю дорівнює поверхневій енергії, тобто:

$$A = E_{\text{пов}} = \sigma \cdot S \quad (2.2)$$

Нижче наведені значення поверхневого натягу для деяких рідин при температурі 20 °С (Табл. 2.1).[9]

Таблиця 2.1.

Значення коефіцієнта поверхневого натягу σ (в мН / м) для деяких рідин при температурі 20 °С (другою фазою є повітря)

Жидкость	σ , мН/м	Жидкость	σ , мН/м
Вода	72,5	Эфир	17,0
Желчь	48,0	Бензол	29,0
Молоко	50,0	Ртуть	465,0

Таблиця 2.1. Продовження

Жидкость	σ , мН/м	Жидкость	σ , мН/м
Спирт	22,0	Золото (1130 °С)	1100,0

Ми вважаємо прийнятним проводити обчислення з σ взятої для молока, так як експериментів з σ для жирових кульок в молоці проведено не було, але згідно з визначенням поверхневого натягу можна зробити висновок, що σ для жирових кульок (при другому середовищі знежиреному молоці) менше, ніж σ для молока (при другому середовищі - повітрі).

Щоб розбити жирову кульку необхідно передати їй енергію більшу за ту, що необхідна для переміщення молекули з рідини на поверхню кульки. Тобто :

$$E_{min} > E_{пов}(S) = \sigma \cdot S \quad (2.3)$$

$$S = \pi \cdot D^2 \quad (2.4)$$

де D варіюється від 1мкм до 7 мкм.

На графіку рис. 2.2 приведена залежність $E_{пов}$ від діаметру кульки:

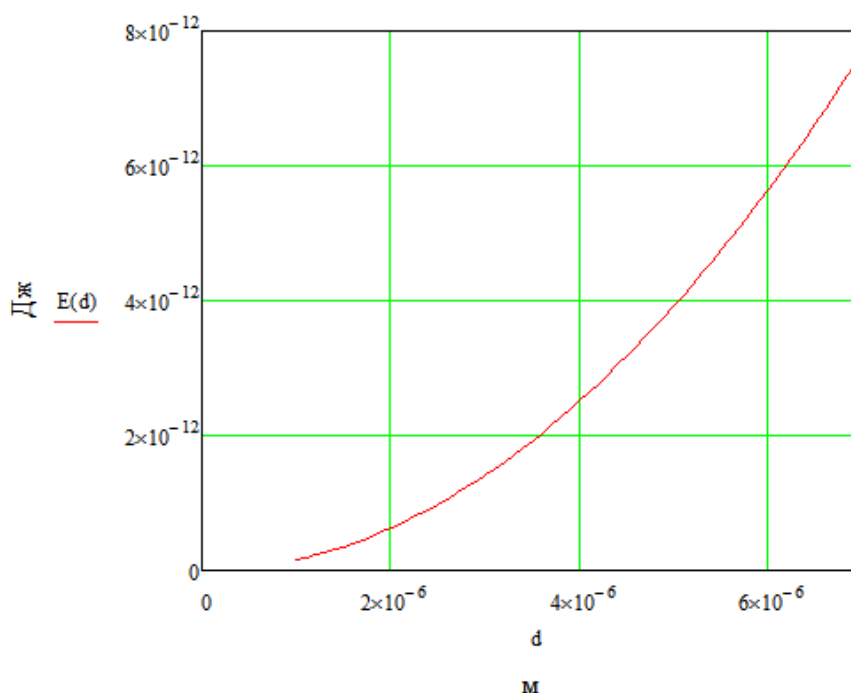


Рис 2.2. Графік залежності енергії необхідної для розбиття жирової кульки від діаметру цієї кульки.

Як ми бачимо з графіку, при УЗ кавітаційній обробці ми повинні мати змогу передавати не менше $8 \cdot 10^{-12}$ Дж жировій кульці для її розбиття.

2.2 Розрахунок енергії необхідної для дезінтеграції мікробних клітин

Для дезінтеграції мікробних клітин необхідно зруйнувати клітинну оболонку. В навчальному посібнику А.Н.Огурцова [11] приведені результати дослідів товщини біологічних мембран, які наведені на рис 2.3, також він зазначає, що незалежно від бактерії, всі біологічні мембрани мають однакову будову.

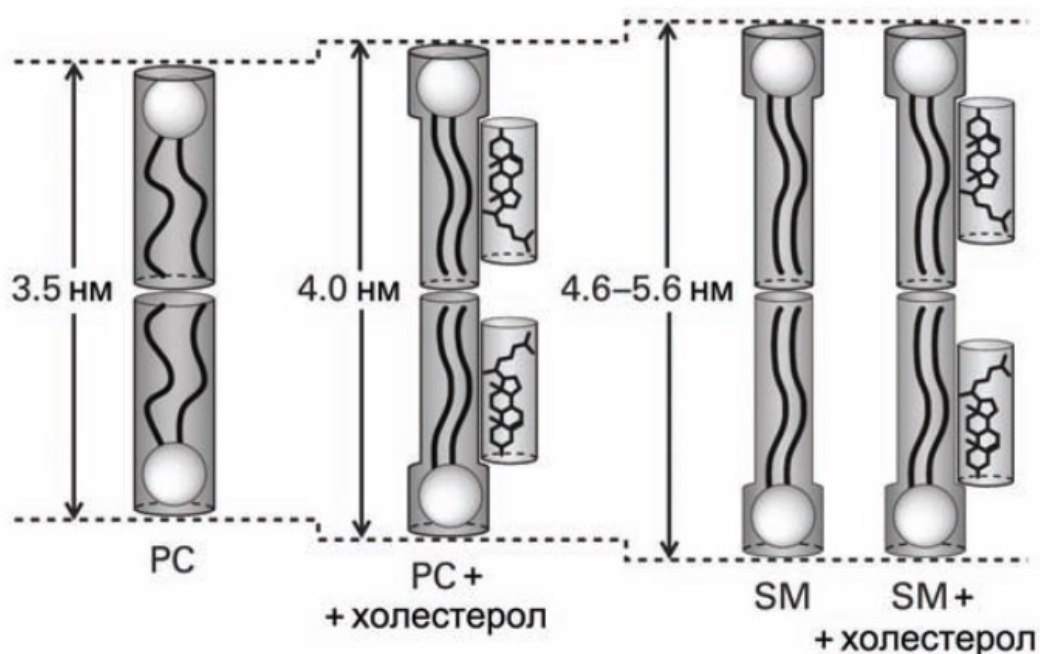


Рис 2.3. Товщина біомембрани залежно від ліпідного складу

Мембрани біологічних клітин мають $\sigma = 100$ мН/м стверджує Крилов.[9] Натомість Огурцов пише, що коефіцієнт поверхневого натягу мембрани значно ближче до коефіцієнту поверхневого натягу на границі розділу білок-вода ($\sim 10^{-4}$ Н/м), аніж ліпід-вода ($\sim 10^{-2}$ Н/м).

Розглянемо процес дезінтеграції бішарової ліпідної плівки. Механічні подразнення плівки призводять до появи у ній пор (рис 2.4), якщо пора має розмір менше критичного, то вона гоїться, в іншому випадку вона призводить до руйнування мембрани та загибелі клітини. [11]

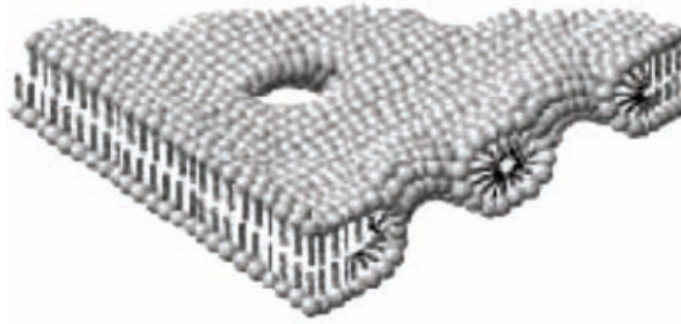


Рис 2.4. Бішарова ліпідна мембрана з ліпідними порами

Для початку розглянемо модель ліпідної пори (рис 2.5). Будемо вважати, що бокова поверхня пори має форму циліндру. Зробимо припущення, що бокова поверхня циліндру зогнута та має радіус кривизни $h/2$. Радіус пори дорівнює r . Ліпідний бішар у цілому є плоским, а пора має два радіуса кривизни $h/2$ і r .

Викривлення поверхні на границі розділу ліпід-вода супроводжується появою надлишкового тиску, що зоветься лапласовим та дорівнює

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \sigma}{r} \quad (2.5)$$

де σ - поверхневий натяг всередині пори, r – радіус кривизни.

В моделі, що розглядається, таких радіуси два ($h/2$ та r) і два тиску. Один з них $p(h/2)$ сприяє розширенню, а другий $p(r)$ – зтисненню пори. Подальша доля пори залежить від співвідношення цих двох тисків. Якщо $p(h/2) > p(r)$, пора буде розширятися, а якщо $p(h/2)$ менший за $p(r)$, то пора буде затікати.

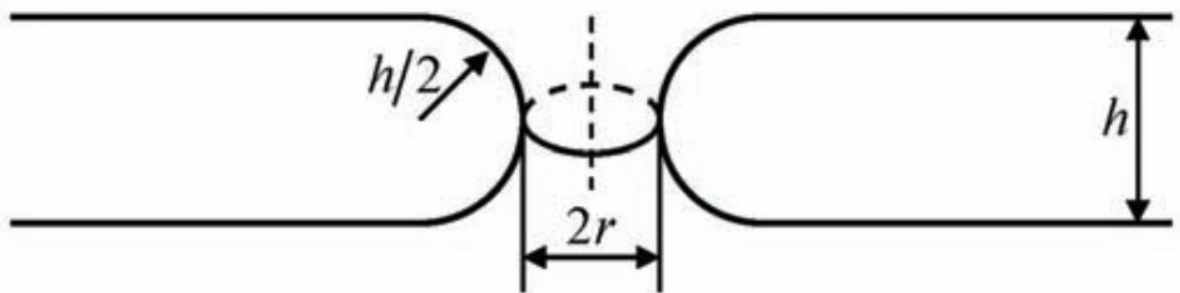


Рис 2.5. Модель гідрофільної ліпідної пори. h – товщина ліпідного бішару; $h/2$ – радіус кривизни стінки всередині пори; r – радіус пори

Таким чином, на границі пори діють дві протилежні сили, одна з котрих – крайовий лінійний натяг периметра пори – сприяє росту пори, а друга сила – поверхневий натяг бішару – визиває стиснення пори.

Енергія кромки пори пропорційна першому ступеню радіуса і збільшує сумарну енергію, енергія поверхневого натягу пропорційна квадрату радіусу і знижує сумарну енергію. В результаті сумарна енергія $E(r)$ дорівнює

$$E(r) = 2\pi r\gamma - \pi r^2\sigma \quad (2.6)$$

де перший член визначається енергією кромки пори з лінійним натягом γ , а другий - енергією поверхневого натягу σ .

Вид кривої на рис. 2.6 вказує на існування нестійкої рівноваги в точці максимуму з критичними значеннями енергії (E^*) і радіусу (r^*).

У точці рівноваги (екстремум функції) $\frac{dE}{dr} = 0$ і рівняння перетворюється в тотожність:

$$0 = 2\pi\gamma - 2\pi\sigma r^* \quad (2.7)$$

звідки можна визначити критичний радіус пори

$$r^* = \frac{\gamma}{\sigma} \quad (2.8)$$

Висота енергетичного бар'єру після підстановки r^* в рівняння 6 дорівнює

$$E^* = \frac{\pi\gamma^2}{\sigma} \quad (2.9)$$

З урахуванням нестійкості рівноваги можна стверджувати, що поява пір з $r > r^*$ буде супроводжуватися розривом мембрани внаслідок необмеженого зростання пори.

Навпаки, при $r < r^*$ пора буде затікати, і стабільність мембрани збережеться.

Такий кількісний критерій стабільності ліпідної біслойдной мембрани.[11]

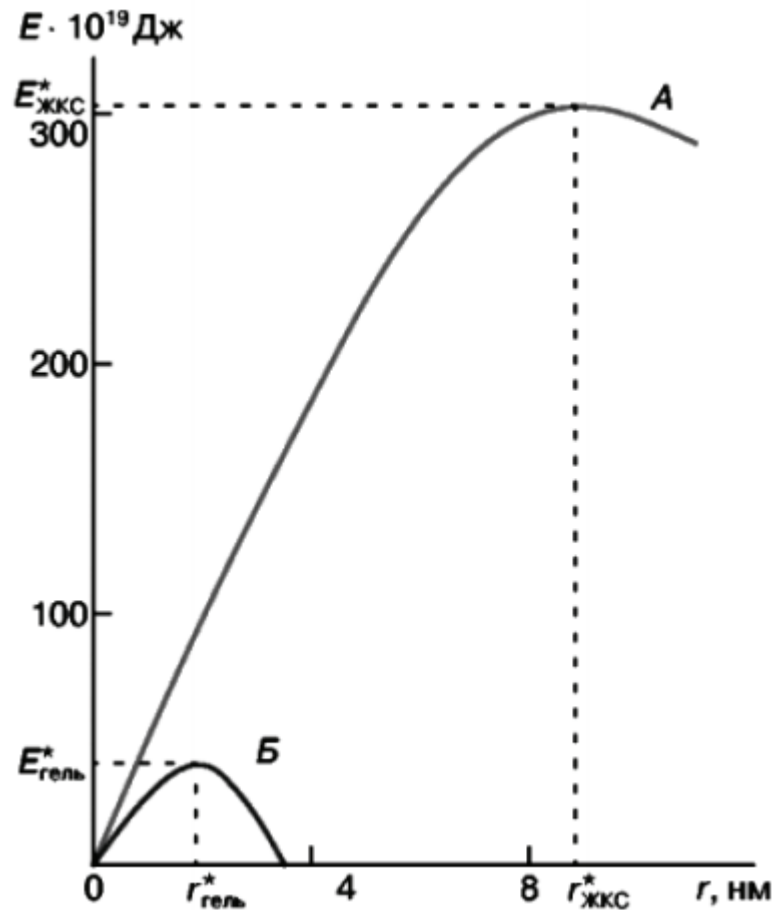


Рис 2.6. Залежність енергія пори від її радіуса в рідкокристалічному стані (А) і гель-стані (Б) мембранних ліпідів. Розрахунок зроблений за (2.9)

2.3 Розрахунок енергії що виділяється при ультразвуковій кавітаційній обробці

Кавітаційний ефект можна умовно диференціювати на два етапи: виникнення і динаміка; зростання і схлопування кавітаційного пухирця (рис 2.7). При виникненні і динаміці каверни формуються гідродинамічні течії, а при схлопуванні виділяється енергія, яка йде на обробку молока.[16]

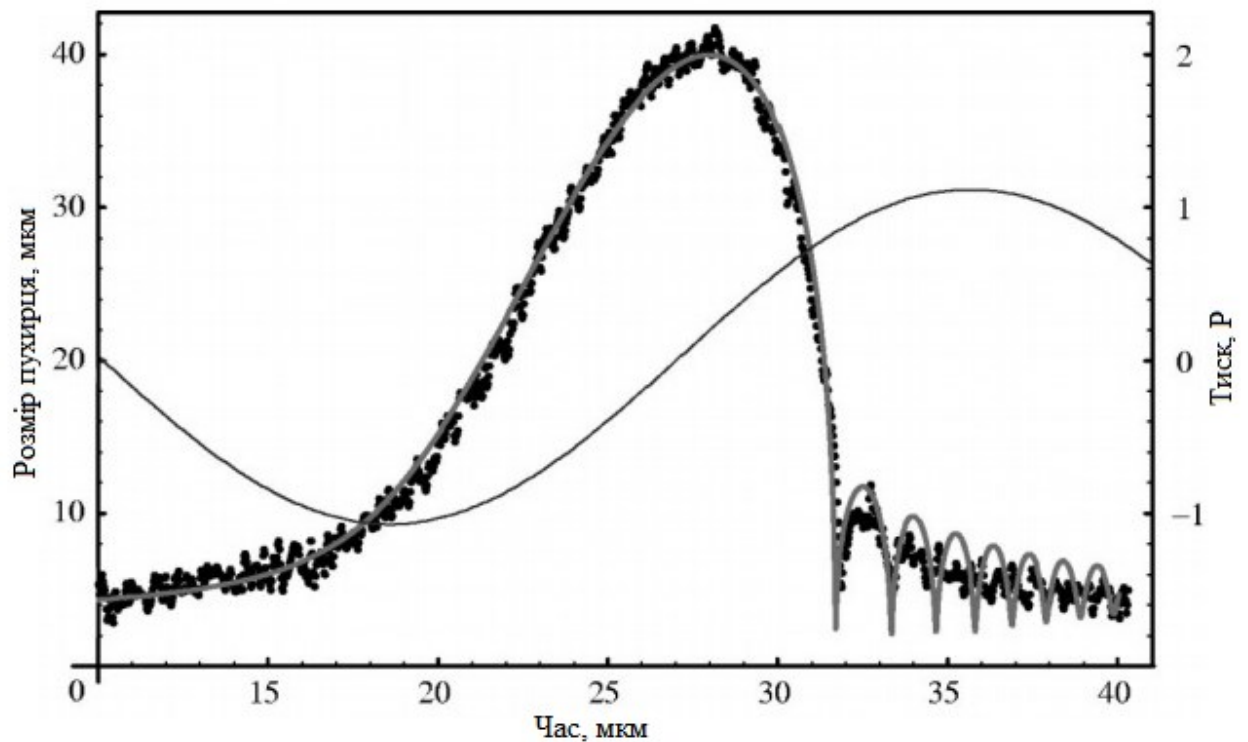


Рис 2.7. Життєвий цикл кавітаційного пухирця[17]

Бульбашки кавітацій утворюються із зародків кавітації, в якості яких можуть виступати не змочувані тверді частинки, нерозчинені гази, мікропухирці нерозчинених газів, що знаходяться в мікротріщинах на не змочуваних твердих, що межують з рідиною, поверхнях, і.т.д. Розмір цих зародків має розміність $10^{-9} - 10^{-8}$. Кавітаційні парогазові бульбашки збільшуються в розмірах в фазі розрідження і схлопуються в фазі стиснення звукової хвилі після здійснення одного або декількох коливань.[15]

Умова рівноваги (не враховуючи дифузію) пухирця, що містить лише пари рідини, можна записати у вигляді

$$p = p_n - \frac{2\sigma}{R} \quad (2.10)$$

де p — тиск в рідині, зовні пухирця;

p_n — тиск насиченого пару;

R — радіус пухирця;

σ — поверхневий натяг.

Звідси витікає, що зріст ядра може початися лише при зовнішніх тисках, менших тиску насичення, а початковий радіус пухирця досить малий, як було зазначено вище для

$R_0 = 10^{-9}\text{м}$, що в декілька разів перевищує розмір молекули, тоді розтягуючи напруження, необхідне для росту пухирця, досягає $z = -p = 1500$ атм.

Необхідно враховувати, що в дійсності пухирець, окрім парів рідини, містить ще й деяку кількість газу, продифундувавшого у середину пухирця з оточуючої його рідини. Тоді рівняння рівноваги може бути записане наступним чином:

$$p = p_n + p_r - \frac{2\sigma}{R} \quad (2.11)$$

де p_r – тиск газу усередині пухирця.

Розглядаючи умови статичної рівноваги пухирця, слід мати на увазі, що тут передбачаються порівняно повільна зміна радіусу та що дифузія газу з пухирця в оточуючу рідину та навпаки не протікає. При цьому тиск парів рідини, заповнюючи пухирець, можемо вважати незмінним, а тиск газу – змінюється по ізотермічному закону[22], внаслідок припущення про низьку швидкість збільшення пухирця, та враховуючи велику теплоємність рідини та маленький об'єм рідини в пухирці, температура пару і газу в пухирці залишається незмінною. Таким чином, тиск газу може бути записаний у вигляді

$$p_r = (p_0 - p_n + \frac{2\sigma}{R_0}) \cdot \frac{R_0^3}{R^3} \quad (2.12)$$

де індекс «0» відноситься до початкових значень відповідної величини.

Підставляючи (2.12) в (2.11), отримаємо вираз для зовнішнього тиску, відповідно до статичній рівновазі пухирців різного радіусу.

$$p = p_n + (p_0 - p_n + \frac{2\sigma}{R_0}) \cdot \frac{R_0^3}{R^3} - \frac{2\sigma}{R} \quad (2.13)$$

Із графіка залежності $p(R)$, зображеного на рис. 10, можливо бачити, що при тисках в рідині, більших за p_n , існує єдине значення радіусу, що відповідає рівноважному стану пухирця; при дії в рідині розтягуючих напружень $z = (p_n - p) > 0$ таких рівноважних значень вийде два. Звертає на себе увагу також й ті обставини, що при розтягуючих напруженнях, більших за деяке критичне, рівновага пухирця в рідині зовсім не має місця.

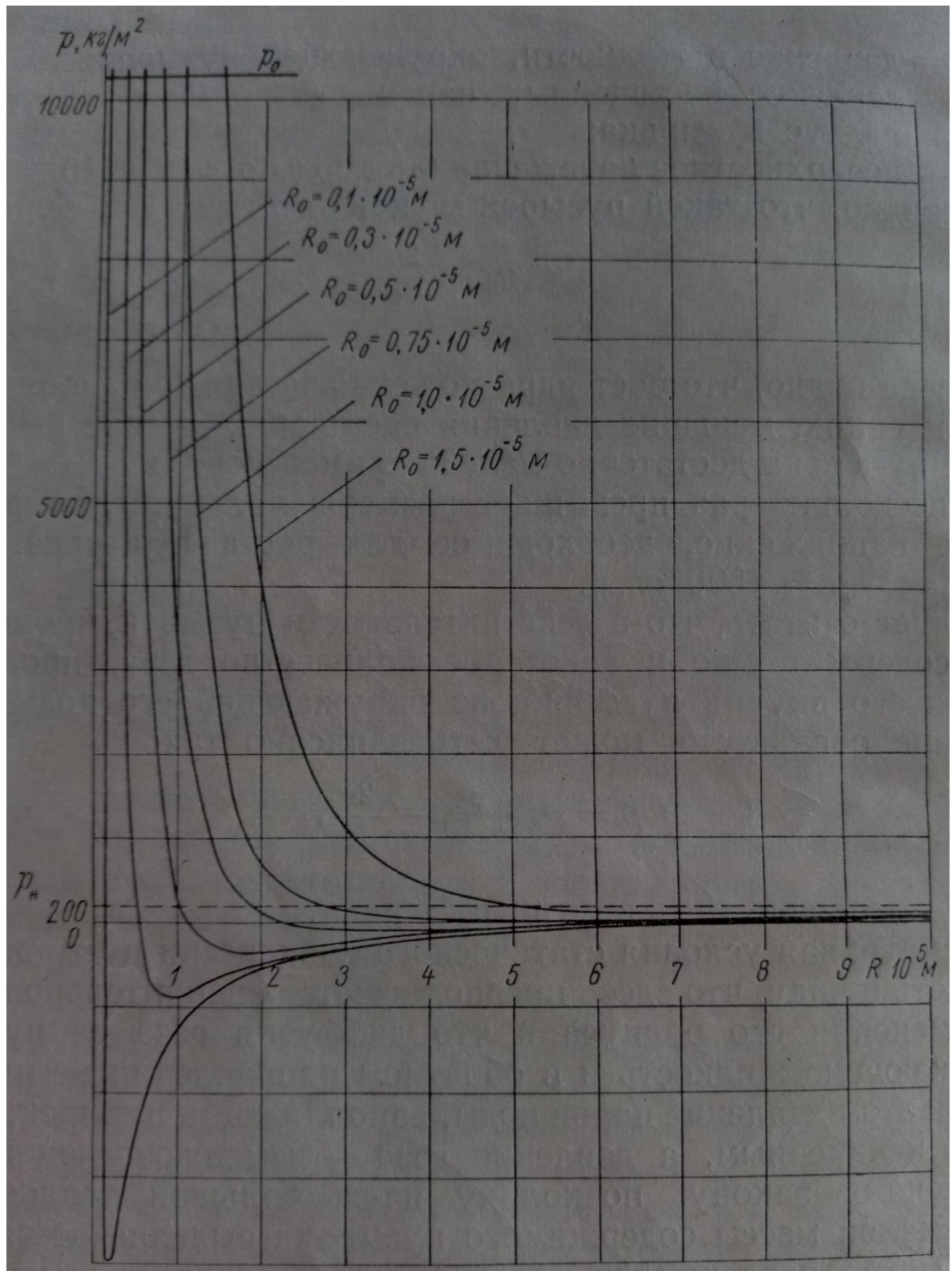


Рис 2.8. Графік залежності рівноважного тиску в рідині від поточного й початкового радіусів пухирця. Рівноважний тиск в рідині при $R = R_0$ прийнято рівним $p_0 = 10\,300 \text{ кг/м}^2$.

За допомогою простих міркувань можна легко оцінити стійкість пухирців, розміри яких відповідають різним віткам кривої, що досліджуємо. Якщо пухирець відповідає лівій

вітці кривої, де радіус його малий та близький до початкового, тиск газу в ньому великий та у багато разів перевищує тиск насичених парів рідини. Тоді при деякому випадковому збільшенні радіусу тиск всередині пухирця зменшиться зворотно пропорційно кубу радіуса і, тобто, швидше, ніж сила поверхневого натягу, що змінюється зворотно пропорційно першій степені радіусу. Завдяки цьому сила поверхневого натягу повертає пухирець в рівноважний стан. Картина буде така ж, якщо в силу дії якихось причин пухирець, що відповідає лівій частині кривої, випадково зменшить свій радіус.

По іншому веде себе пухирець, що відповідає правій частині кривої рівноважності. Внаслідок значного збільшення його розмірів тиск газу стає меншим за тиск насичених парів. Завдяки цьому при незначному збільшенні радіусу пухирця тиск в ньому залишається практично незмінним, а сили поверхневого натягу зменшуються. В цьому випадку внутрішній тиск насичених парів внаслідок протидії сил поверхневого натягу, що зменшуються, розширює пухирець до нескінченності.

При випадковому зменшенні радіусу пухирця сили поверхневого натягу будуть стискати його до тих пір, доки він не перейде на ліву, стійку частину кривої. Таким чином, пухирці, що відповідають лівій кривій, є стійкими, а пухирці, що відповідають правій вітці – нестійкі.

Якщо прослідкувати стійкість пухирця, розглядаючи випадкові зміни зовнішнього тиску, то вийде (для лівої частина), що пухирець буде стійким при зменшенні тиску аж до критичного (мінімальне на кривій); при подальшому зменшенні тиску пухирець буде безмежно розширюватися.

Рівняння 2.13 дозволяє легко знайти значення критичного тиску $p_{кр}$. Диференціюючи рівняння 2.13 по R та прирівнюючи похідну до нуля, отримаємо

$$-3 \cdot \left[(p_0 - p_n) + \frac{2\sigma}{R_0} \right] \cdot \frac{R_0^3}{R_{кр}^4} + \frac{2\sigma}{R_{кр}^2} = 0 \quad (2.14)$$

Звідси критичне значення радіусу пухирця і зовнішнього тиску будуть дорівнювати відповідно

$$\begin{aligned} R_{кр} &= \sqrt{3} \cdot R_0 \left[\frac{R_0}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(p_0 - p_n + \frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}} = \\ &= \sqrt{3} \cdot R_0 \left[\frac{R_0}{2 \cdot \sigma} \cdot p_{r0} \right]^{\frac{1}{2}} = - \frac{4 \cdot \sigma}{3 \cdot (p_{кр} - p_n)} \end{aligned} \quad (2.15)$$

$$p_{кр} = p_n - \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \left[\frac{\left(\frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \right)^3}{p_0 - p_n + \frac{2 \cdot \sigma}{R_0}} \right]^{\frac{1}{2}} = \quad (2.16)$$

$$= p_n - \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \left[\frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \cdot \frac{1}{p_{г0}} \right]^{\frac{1}{2}} = p_n - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \sigma}{R_{кр}}$$

Остання формула показує, що при достатньо малих значеннях $R_{кр}$ критичний тиск буде від'ємним та буде зростати по абсолютній величині при подальшому зменшенні величини $R_{кр}$. В такому випадку в рідині буде діяти розтягуючі напруження. Залежності $R_{кр}(R_0)$ і $p_{кр}(R_0)$ приведені на рис. 2.9

Має інтерес знайти величину початкового тиску газу в пухирці радіусу R_0 . Для цього підставимо (2.16) в (2.11) та отримаємо

$$p_{г.кр} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2 \cdot \sigma}{R_{кр}} \quad (2.17)$$

Маючи на увазі, що

$$p_{г0} = p_{г.кр} \cdot \left(\frac{R_{кр}}{R_0} \right)^3$$

після підстановки сюди виразу (2.17) і значення $R_{кр}$ з формули (2.15) отримаємо кінцево

$$p_{г0} = \frac{4}{27} \cdot \left(\frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \right)^3 - \frac{1}{(p_n - p_{кр})^2} \quad (2.18)$$

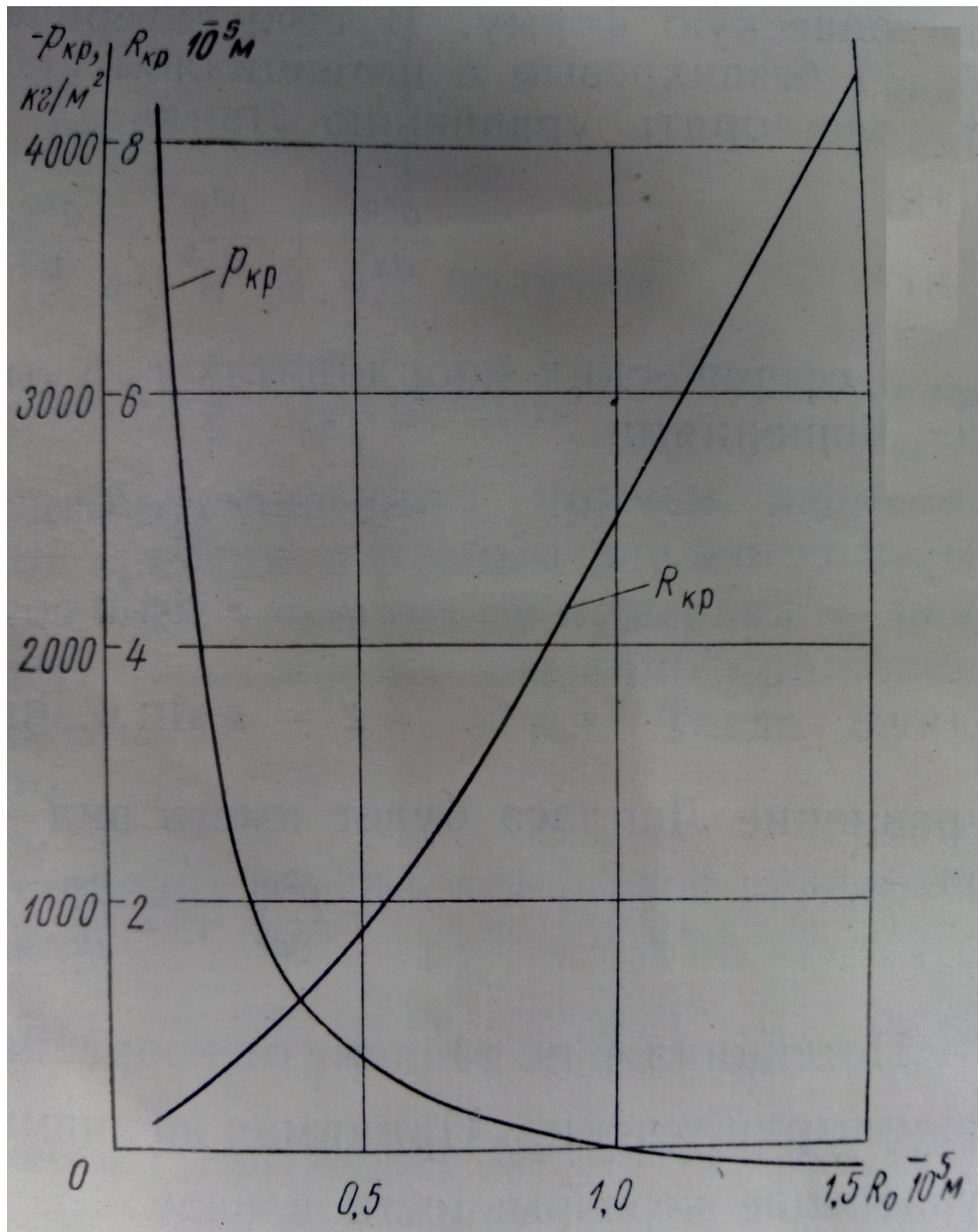


Рис. 2.9. Залежність $R_{кр}$ і $p_{кр}$ від початкового радіусу пухирця.

Звідси ми бачимо, що зі зменшенням радіусу ядра, тиск газу в ньому швидко зростає.

Проведений аналіз дозволяє оцінити умови, що забезпечують стійкість газового ядра, та умови, за яких газове ядро може почати безмежно збільшуватись та визвати цим розрив сполотної рідини, тобто виникне кавітація. Однак цей аналіз має свої припущення, з одного боку, не враховується інерція рідини, яка грає значну роль при швидких зміненнях тиску, а з іншого боку, дифузію газу, що може спричинити значне зростання об'єму ядер за повільного змінення зовнішніх характеристик. Дійсно внаслідок інерції рідини, почавшись,

розширення пухирця буде продовжуватися ще деякий час після того, як пухирець пройде рівноважний стан, і його розмір може опинитися відповідним правій вітці кривої (рис. 2.8). При цьому почнеться безмежне розширення пухирця, котре буде регулюватися головним чином інерційними властивостями рідини.

Явище дифузії веде до втрати стійкості пухирцем, що знаходиться навіть на лівій вітці кривої рівноваги. Якщо уявити, що пухирець, що знаходиться в дифузійній рівновазі, раптово збільшив свій розмір, то в наслідок зменшення в ньому тиску газу зруйнується дифузійна рівновага, і газ почне дифундувати з оточуючої рідини всередину пухирця. Такий пухирець вже не повернеться до попереднього рівноважного стану, а внаслідок зростання кількості газу всередині прийме більший розмір. Таким чином якщо розглядати явище у всій повноті, то можливо прийти до висновку, що зростання газових ядер може відбуватися як наслідок втрати стійкості при постійній масі газу, так і в наслідок дифузії газу із оточуючої рідини всередину пухирця. В дійсності процес кавітації завжди супроводжується дифузією газу всередину пухирця, та в цьому випадку обидва типи кавітації існують разом. Однак дифузійні процеси повільні, а паровий пухирець розширюється настільки швидко, що в більшості випадків явище дифузії не встигає помітно вплинути на протікання процесу.

Отже, ініціювати ультразвукову кавітацію можуть лише зародки певного інтервалу розмірів.

Нижня границя вказаного інтервалу обмежена розміром бульбашки, який визначається залежністю [22]

$$R_{кр} = \sqrt{3} \cdot R_0 \left[\frac{R_0}{2 \cdot \sigma} \cdot \left(p_0 + \frac{2 \cdot \sigma}{R_0} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.22)$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягу; R_0 - початковий радіус бульбашки; p_0 - гідростатичний тиск.

Заводим ці данні у середовище для розрахунків MathCAD (рис 2.10):

Mathcad - [Mat model.xmcd]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 B I U

My Site

$$p1 := 10^5 \cdot 3 \quad p2 := 1 \cdot 10^{12} \quad p3 := 10^{13} \cdot 1 \quad p4 := 1 \cdot 10^{14}$$

$$R0 := 10^{-9}, 1.1 \cdot 10^{-6} \dots 10^{-8}$$

$$\gamma := \frac{4}{3} \quad \sigma := 44 \cdot 10^{-3} \quad pp := 40000$$

$$R1(R0) := \left[\sqrt{3} \cdot R0 \cdot \left[\left(\frac{R0}{2 \cdot \sigma} \right) \cdot p1 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R0} \right]^{0.5} \right]$$

$$R2(R0) := \left[\sqrt{3} \cdot R0 \cdot \left[\left(\frac{R0}{2 \cdot \sigma} \right) \cdot p2 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R0} \right]^{0.5} \right]$$

$$R4(R0) := \left[\sqrt{3} \cdot R0 \cdot \left[\left(\frac{R0}{2 \cdot \sigma} \right) \cdot p4 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R0} \right]^{0.5} \right]$$

$$R3(R0) := \left[\sqrt{3} \cdot R0 \cdot \left[\left(\frac{R0}{2 \cdot \sigma} \right) \cdot p3 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R0} \right]^{0.5} \right]$$

Рис 1.10. Витяг з MathCAD.

Графіки залежностей $R_{кр}$ від R_0 при різних значеннях p_0 наведенні на рис 2.11.

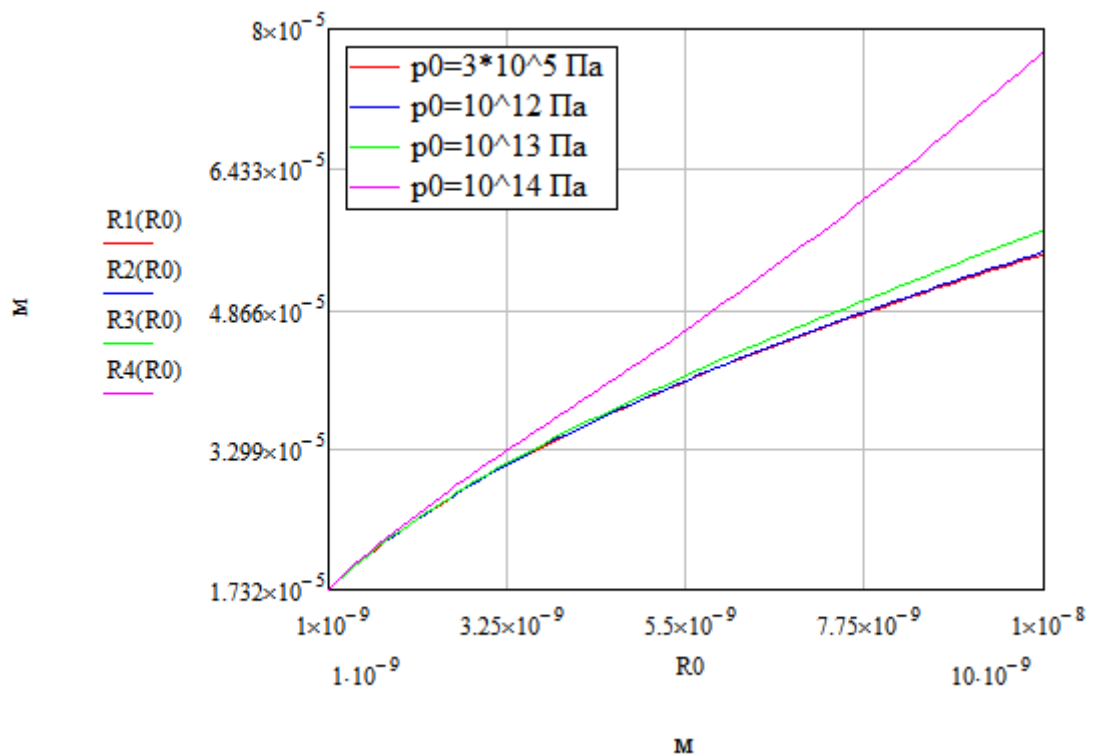


Рис 2.11. Графіки залежностей $R_{кр}$ від R_0 при різних значеннях p_0 .

Як ми бачимо на графіку (рис 1.11), перша та друга крива майже співпадають, але враховуючи, що статичний тиск першої кривої дорівнює 3 атмосфери, а другої 10^{12} Па, робимо висновок, що на початковій стадії кавітації надлишковий тиск не має значного впливу на розміри кавітаційних бульбашок. Також важливо відзначити, що нижній кордон початкових розмірів каверн вар'юється від 17 мкм до 57 мкм за обраних умов.

Верхня границя вказаного інтервалу обмежена розміром бульбашки, який визначається залежністю [23]

$$(2 \cdot \pi \cdot f)^2 = \frac{3 \cdot \gamma_a}{\rho \cdot R_{рез}^2} \left(p_a + \frac{2 \cdot \sigma}{R_{рез}} \right) \quad (2.23)$$

де σ - коефіцієнт поверхневого натягнення; $R_{рез}$ - максимальний радіус бульбашки; p_0 - гідростатичний тиск, γ_a - показник адіабати, f - частота.

Моделювання цього процесу в системі MathCAD приведене нижче на рис 2.12, рис 2.13.

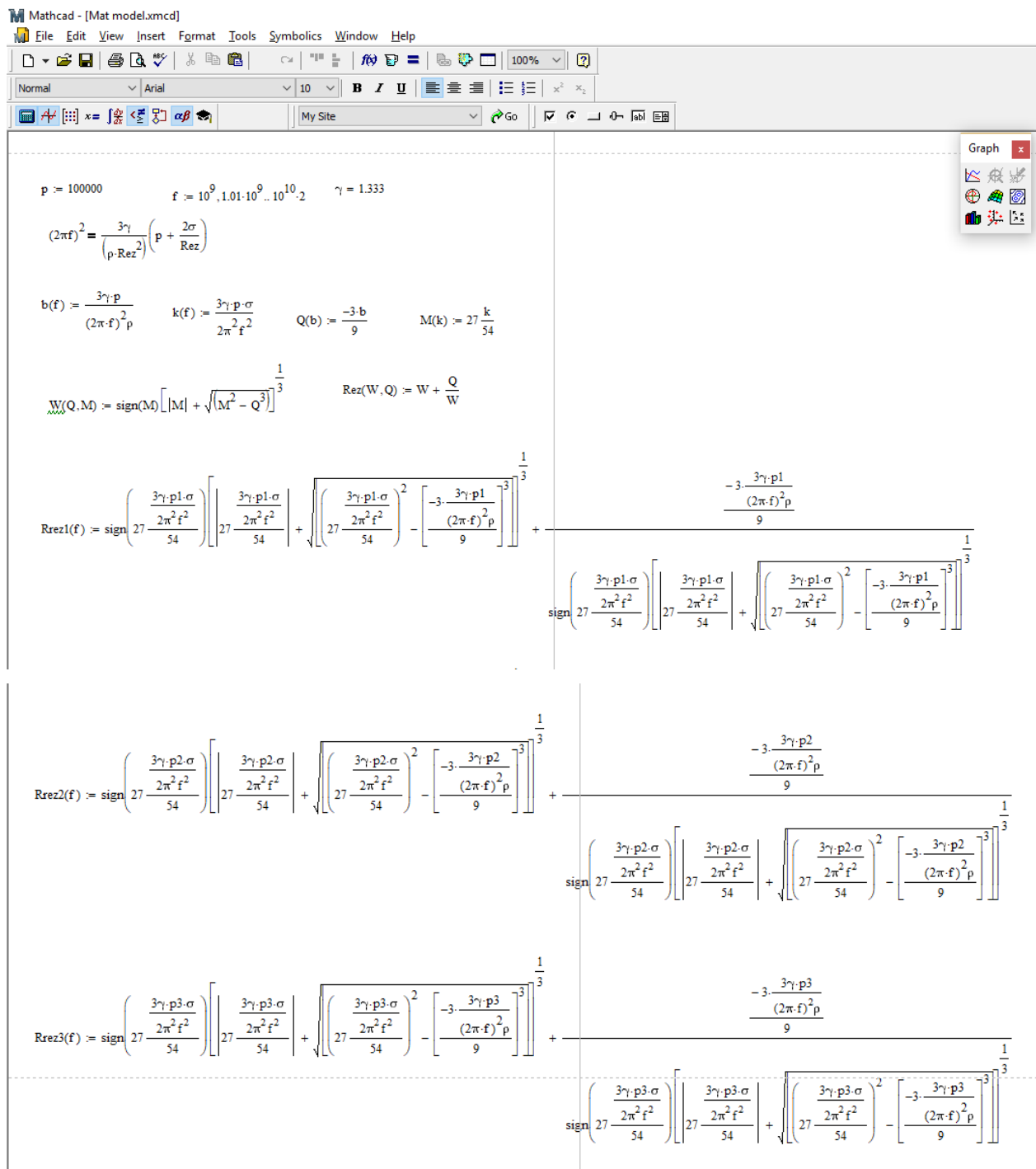


Рис 2.12. Моделювання резонансного радіусу в MathCAD.

$$\text{Rrez4}(f) := \text{sign} \left(27 \frac{3\gamma \cdot p4 \cdot \sigma}{2\pi^2 f^2} \right) \left[\left| 27 \frac{3\gamma \cdot p4 \cdot \sigma}{2\pi^2 f^2} \right| + \sqrt{\left(\left(27 \frac{3\gamma \cdot p4 \cdot \sigma}{2\pi^2 f^2} \right)^2 - \left[\frac{-3 \cdot 3\gamma \cdot p4}{(2\pi \cdot f)^2 p} \right]^3 \right)} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{-3 \cdot 3\gamma \cdot p4}{(2\pi \cdot f)^2 p}$$

Рис 2.13. Моделювання резонансного радіусу в MathCAD.

Графіки залежностей $R_{\text{рез}}$ від f при різних значеннях p_0 наведенні на рис 2.14.

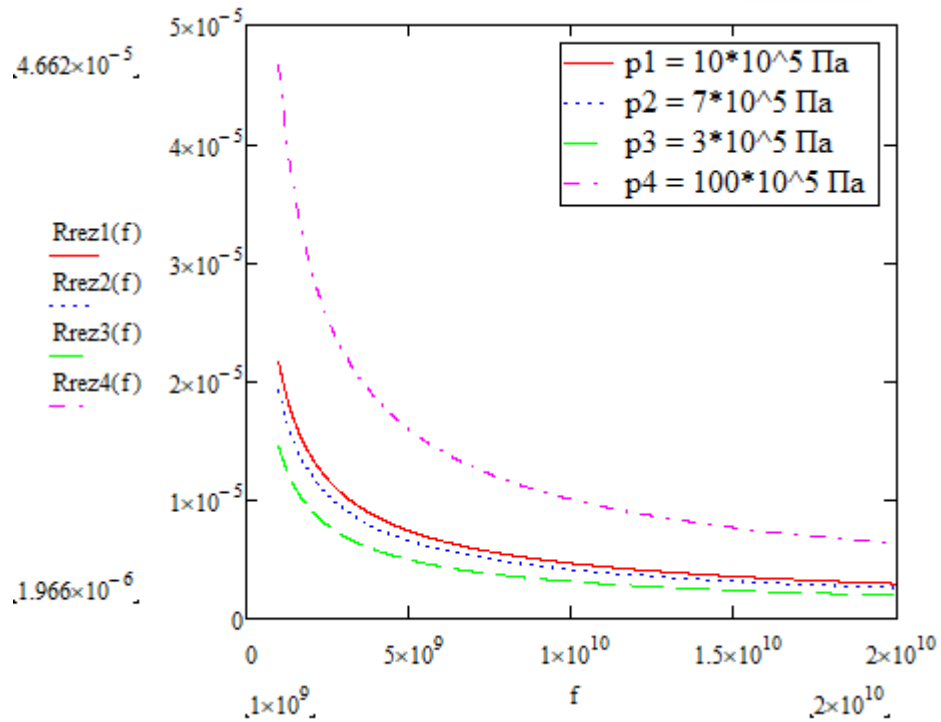


Рис 2.14. Графіки залежностей $R_{\text{рез}}$ від f при різних значеннях p_0 .

Як ми бачимо на графіку (рис 2.9), статичний тиск має більш значний вплив на розміри кавітаційних бульбашок. Також важливо відзначити, що верхній кордон початкових розмірів каверн вар'юється від 2 мкм до 46 мкм за обраних умов.

Таким чином початкові радіуси кавітаційних бульбашок розподіляються від 17мкм до 46мкм.

Користуючись ціми висновками порахуємо енергію, що виділяється при схлопуванні кавітаційного пухирця.

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{4}{3}\pi \int_{R_{\min}}^R p(R)4R^2 dR = 4\pi \int_{R_{\min}}^R \left[\left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} + p_{\text{н}} - \frac{2\sigma}{R} \right] R^2 dR = \\
 &= 4\pi \left(p_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) R_0^{3\gamma} \frac{R^{3(1-\gamma)} - R_{\min}^{3(1-\gamma)}}{3(1-\gamma)} + 4\pi p_{\text{н}} \frac{R^3 - R_{\min}^3}{3} - 4\pi\sigma(R^2 - R_{\min}^2)
 \end{aligned} \tag{2.24}$$

де $\gamma = 4/3$; $p_{\text{н}} = 4000$ кгс/м²; $p_0 = 1$ атм; $R_{\min} = 10^{-9}$ м; $R_0 = 20$ нм; $R = R_{\text{кр}}$;

Ці розрахунки в оболонці MathCAD наведені на рис 2.15.

Mathcad - [Mat model.xmcd]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 B I U

My Site Go

$$p1 = 1 \times 10^6 \quad p2 = 7 \times 10^5 \quad p3 = 3 \times 10^5 \quad p4 = 1 \times 10^7$$

$$\sigma = 0.044 \quad Rmin = 1 \times 10^{-9} \quad \gamma = 1.333 \quad pp = 4 \times 10^4$$

$$R := 10^{-4} \cdot 5, 5.1 \cdot 10^{-4} \dots 20 \cdot 10^{-4} \quad +$$

$$E1(R) := 4\pi \left(p1 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \right) R^{3 \cdot \gamma} \cdot \frac{[(3R)^{3 \cdot (1-\gamma)} - Rmin^{3 \cdot (1-\gamma)}]}{3 \cdot (1-\gamma)} + \left[\frac{(3R)^3 - Rmin^3}{3} \right] \cdot 4\pi pp - 4 \cdot \pi \sigma \cdot [(3R)^2 - Rmin^2]$$

$$E2(R) := 4\pi \left(p2 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \right) R^{3 \cdot \gamma} \cdot \frac{[(3R)^{3 \cdot (1-\gamma)} - Rmin^{3 \cdot (1-\gamma)}]}{3 \cdot (1-\gamma)} + \left[\frac{(3R)^3 - Rmin^3}{3} \right] \cdot 4\pi pp - 4 \cdot \pi \sigma \cdot [(3R)^2 - Rmin^2]$$

$$E3(R) := 4\pi \left(p3 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \right) R^{3 \cdot \gamma} \cdot \frac{[(3R)^{3 \cdot (1-\gamma)} - Rmin^{3 \cdot (1-\gamma)}]}{3 \cdot (1-\gamma)} + \left[\frac{(3R)^3 - Rmin^3}{3} \right] \cdot 4\pi pp - 4 \cdot \pi \sigma \cdot [(3R)^2 - Rmin^2]$$

$$E4(R) := 4\pi \left(p4 + 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \right) R^{3 \cdot \gamma} \cdot \frac{[(3R)^{3 \cdot (1-\gamma)} - Rmin^{3 \cdot (1-\gamma)}]}{3 \cdot (1-\gamma)} + \left[\frac{(3R)^3 - Rmin^3}{3} \right] \cdot 4\pi pp - 4 \cdot \pi \sigma \cdot [(3R)^2 - Rmin^2]$$

Рис 2.15. Розрахунки E в системі MathCAD.

Результати змодельовано на графіку рис 2.16:

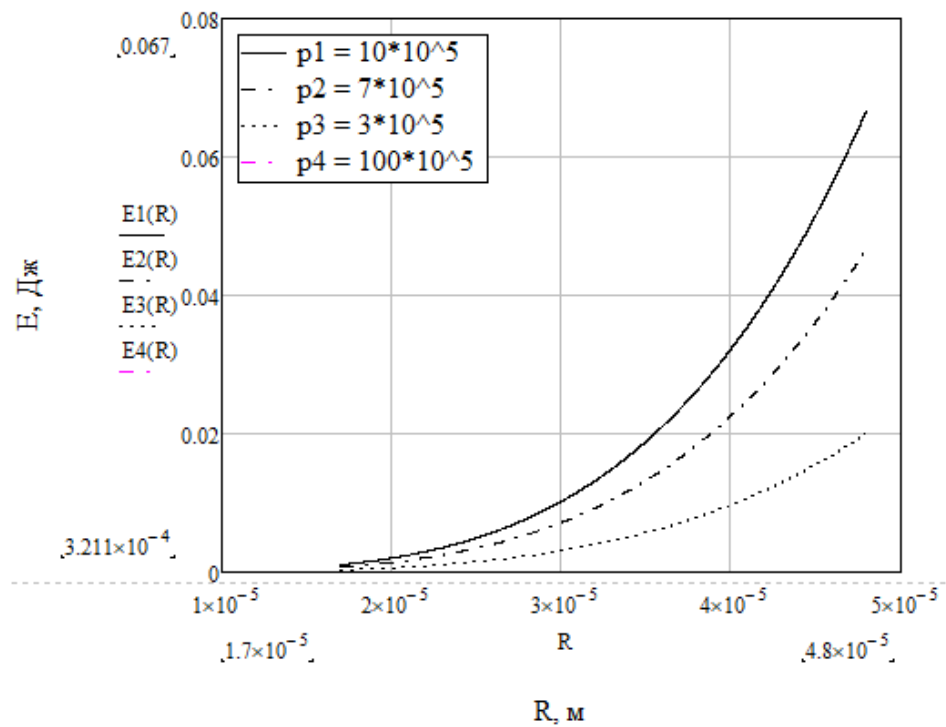


Рис 2.16. Графіки залежностей E від R при різних значеннях p_0 .

Таким чином маємо проміжок енергій, що виділяються при УЗ кавітації: від $3 \cdot 10^{-4}$ Дж до $670 \cdot 10^{-4}$ Дж, залежно від надмірного тиску.

Як ми бачимо, цього цілком достатньо задля знищення жирових кульок та бактерій. Але постає питання: в який саме спосіб ця енергія розподіляється?

2.4 Розподілення енергії при схлопуванні кавітаційного пухирця

Існують два типи схлопування кавітаційного пухирця. Перший – при колапсі пухирець розповсюджує сферичну ударну хвилю (рис 2.17) [20,21].

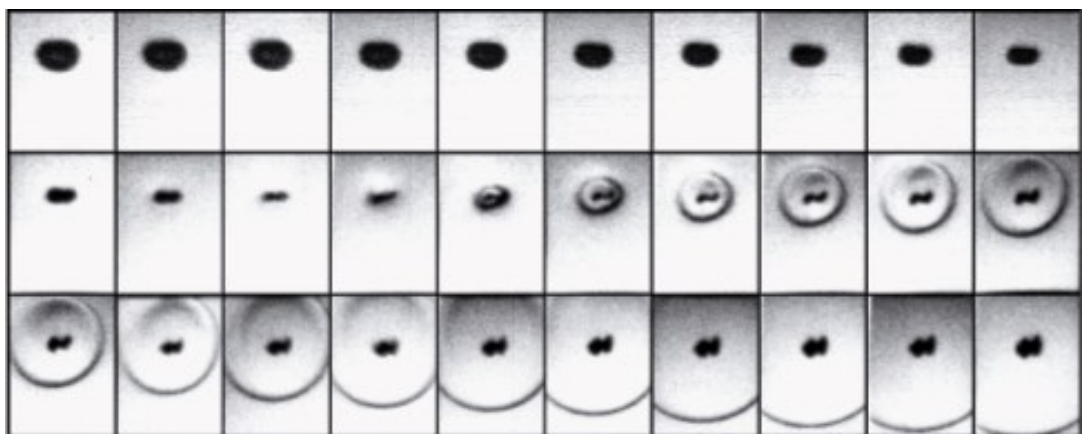


Рис. 2.17. Динаміка захлопування кавітаційної бульбашки в безмежній рідині.

Другий – при взаємодії з твердою поверхнею або іншою каверною пухирець схлопується з утворенням кумулятивного струменя (рис 2.18, 2.19).

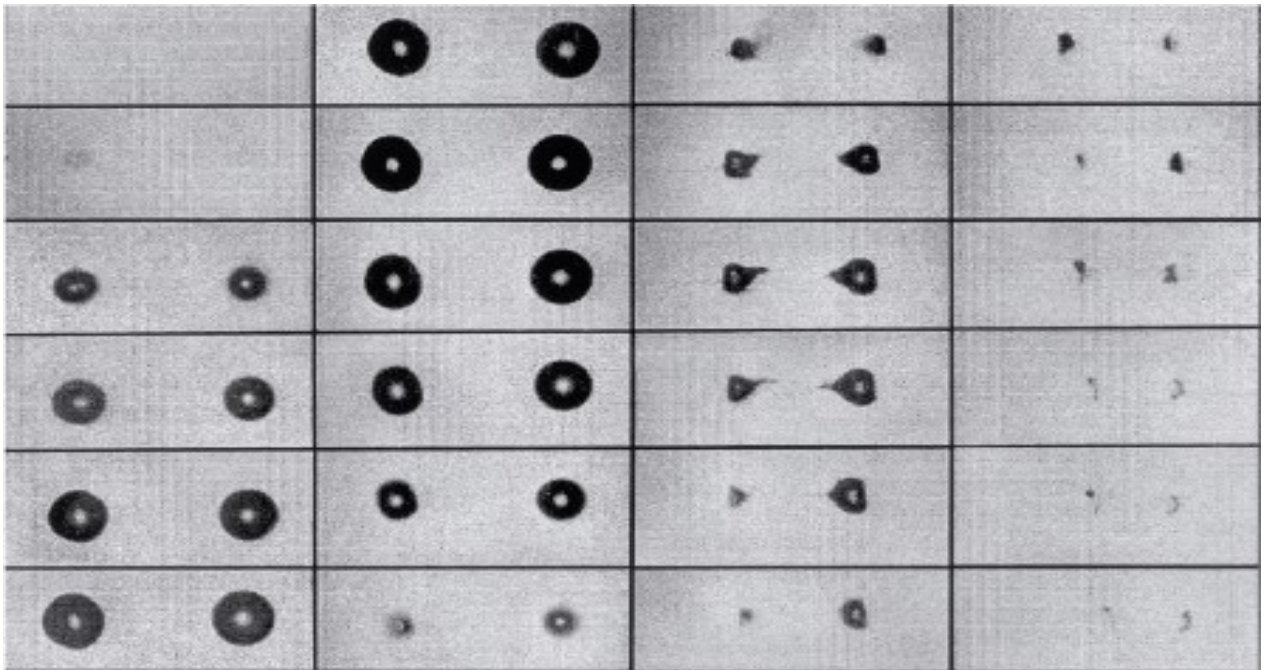


Рис. 2.18. Взаємодія двох кавітаційних бульбашок в безмежній рідині з утворенням зустрічних струменів [19]

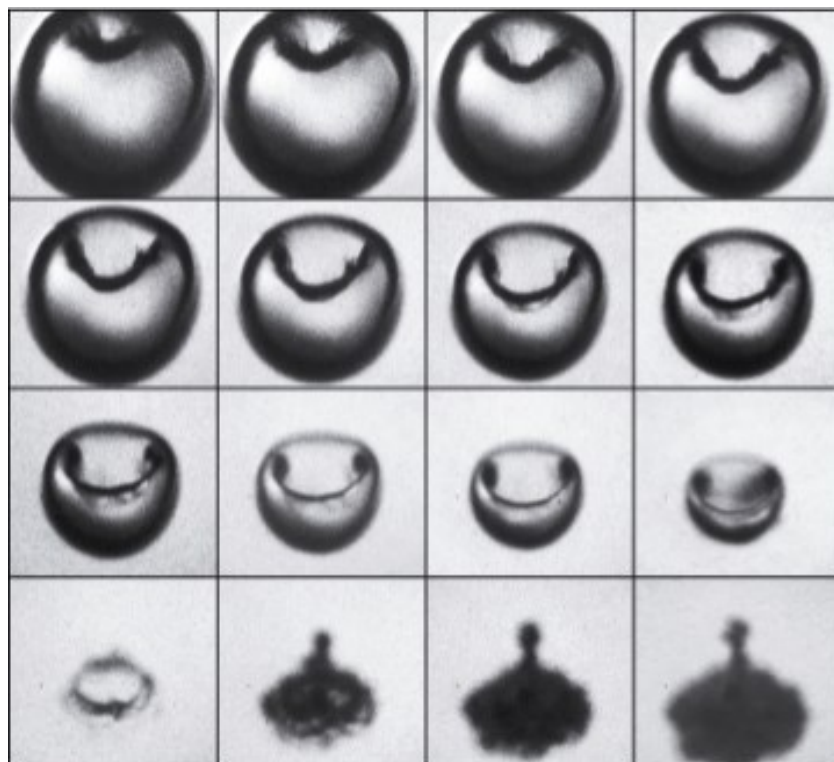


Рис. 2.19. Утворення прямого та зворотного струменів при захопленні бульбашки біля “твердої” стінки [18].

Враховуючи, що в молоці нема твердих домішок, робимо висновок, що єдинина причина другого типу схлопування – велика концентрація каверн.

Таким чином необхідно вирахувати за якої концентрації кавітаційних бульбашок проходить ультразвукова обробка молока?

Відомості з цього питання можна знайти в працях Луговського Олександра Федоровича[23].

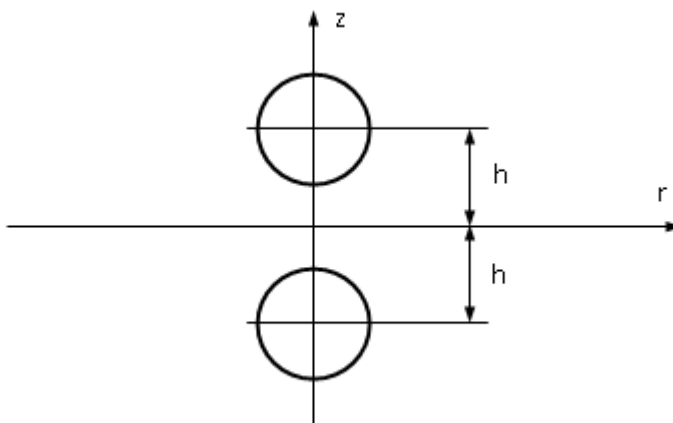


Рис 2.20. Розрахункова схема несферичної моделі.

Відстань h до граничної поверхні приведена до безрозмірного вигляду шляхом ділення на максимальний радіус початково сферичної бульбашки. Безрозмірна відстань $h=1,5$.

Таким чином при концентрації бульбашок за якої відстань між бульбашками менше ніж 3 максимальних радіусу бульбашки маємо другий тип схлопування.

Висновки по розділу

В цьому розділі були описані теоретичні основи схлопування кавітаційного пухирця, основи проведення гомогенізації та пастеризації, описан процес розподілення енергій при схлопування пухирця та засади дозволяючи оцінити тип схлопування.

Проведена робота по цьому розділу дозволяє теоретично оцінити процес проходження пастеризації та гомогенізації в проточній системі та за заданими параметрами. Для порівняння теорії з практикою необхідно провести експерименти на експериментальному стенді при обраних параметрах.

РОЗДІЛ 3 . ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для експериментального дослідження проведемо моделювання за вище описаною математичною моделлю задавшись вхідними параметрами: потужність установки - 400Вт, тиск до 2атм, амплітуда 5 мкм, частоти колегань 22,4 кГц, діаметр проточної труби 1 1/2". Також геометричні параметри оброблюємої зони - діаметр 60мм, висота 80 мм.

Та проведемо експерименти на стенді за допомогою ультразвукового кавітатора за вище зазначених параметрів. Проведемо аналіз отриманих результатів та зробимо висновок щодо проведеної роботи.

3.1. Моделювання процесу обробки молока

Вхідні данні:

- Радіус зародків кавітації :

$$R_0 = [10^{-9}; 10^{-8}] \text{м} \quad (3.1)$$

- Коефіцієнт поверхневого натягу:

$$\sigma = 50 \cdot 10^{-3} \text{Н/м} \quad (3.2)$$

- Показник адіабати:

$$\gamma = 4/3 \quad (3.3)$$

Ці данні заводимо у MathCAD (рис 3.1, рис 3.2):

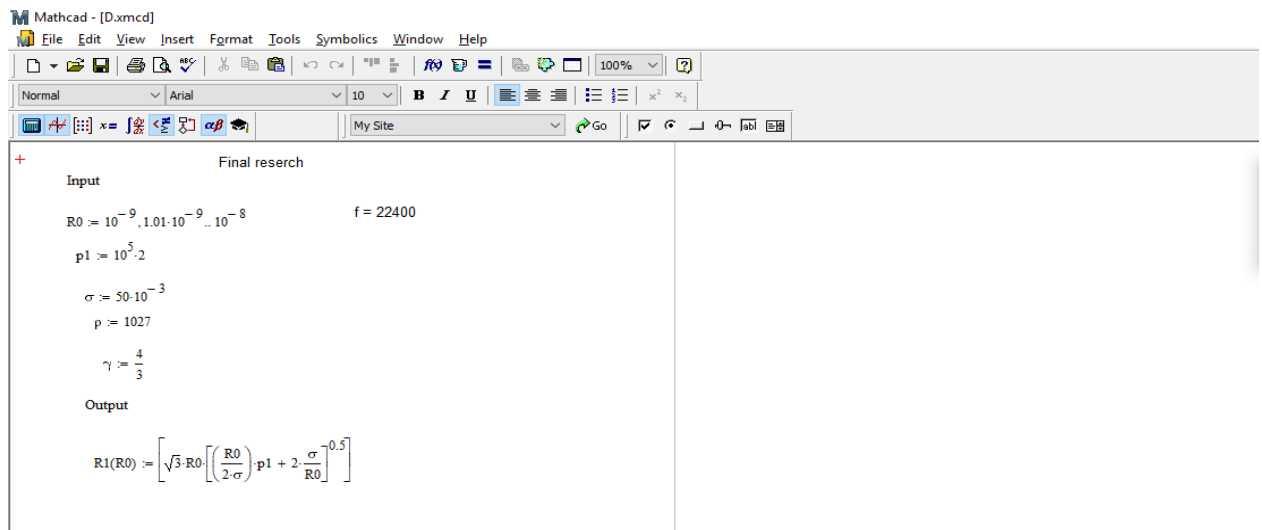


Рис 3.1. Розрахунки за вище приведеною математичною моделлю із заданими параметрами.

$$R_{rez1}(f) := \text{sign} \left(\frac{3\gamma \cdot p1 \cdot \sigma}{27 \cdot \frac{2\pi^2 f^2}{54}} \right) \left[\left| \frac{3\gamma \cdot p1 \cdot \sigma}{27 \cdot \frac{2\pi^2 f^2}{54}} \right| + \sqrt{\left(\frac{3\gamma \cdot p1 \cdot \sigma}{27 \cdot \frac{2\pi^2 f^2}{54}} \right)^2 - \left[\frac{-3 \cdot \frac{3\gamma \cdot p1}{(2\pi \cdot f)^2 \rho}}{9} \right]^3} \right]^{\frac{1}{3}} + \frac{-3 \cdot \frac{3\gamma \cdot p1}{(2\pi \cdot f)^2 \rho}}{9}$$

$$\rho = 1.027 \times 10^3$$

Рис 3.2. Розрахунки за вище приведеною математичною моделлю із заданими параметрами.

Виходячи з цього отримаємо значення початкових радіусів (Рис 3.3):

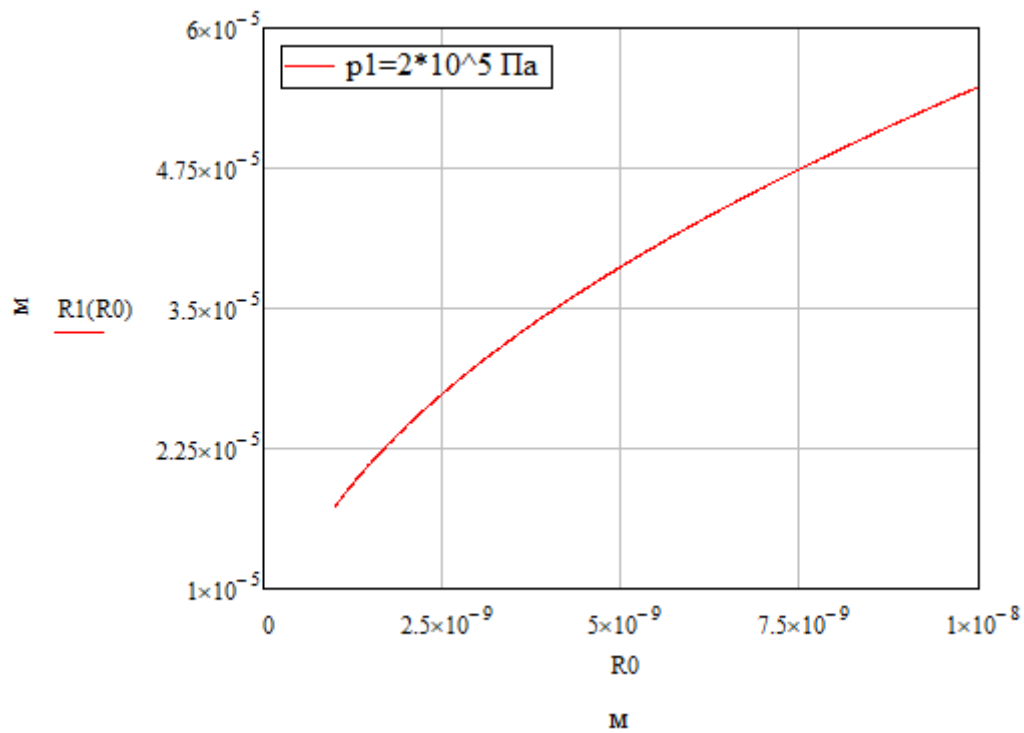


Рис 3.3. Розмір початкових радіусів кавітаційних бульбашек розрахований за математичною моделлю.

Початкові радіуси обмежуються кривою резонансних радіусів (Рис 3.4).

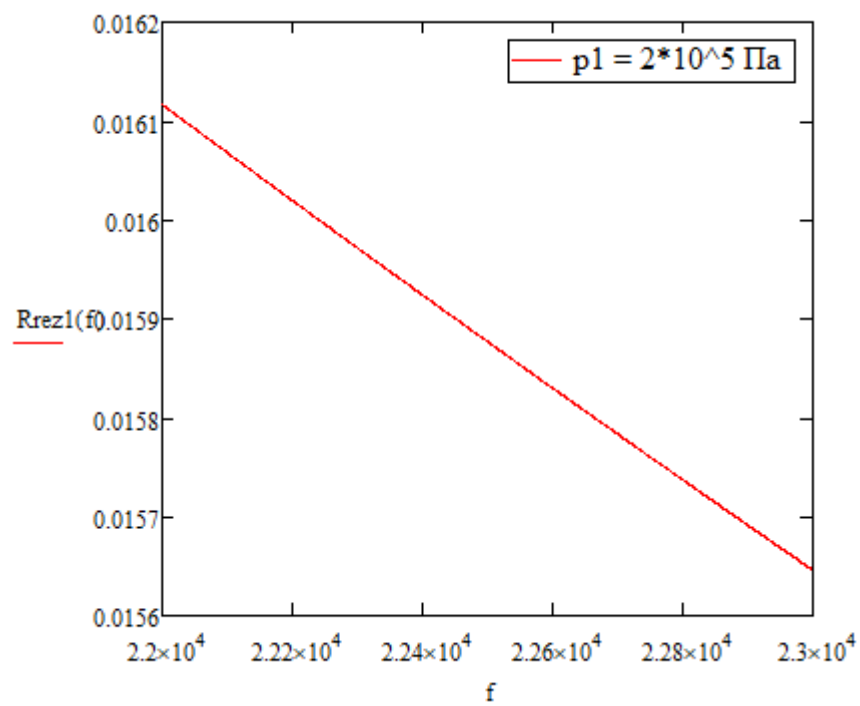


Рис 3.4. Максимальні розміри початкових каверн.

Як ми бачимо з рис.3.4, резонансний радіус набагато вище, аніж кавітаційні бульбашки за заданої частоти.

З одержаних графіків ми беремо проміжок значень для R_0 .

$$R_0 = [2 \cdot 10^{-5}; 6 \cdot 10^{-5}] \quad (3.4)$$

Змоделювавши процес ми отримуємо (рис 3.6):

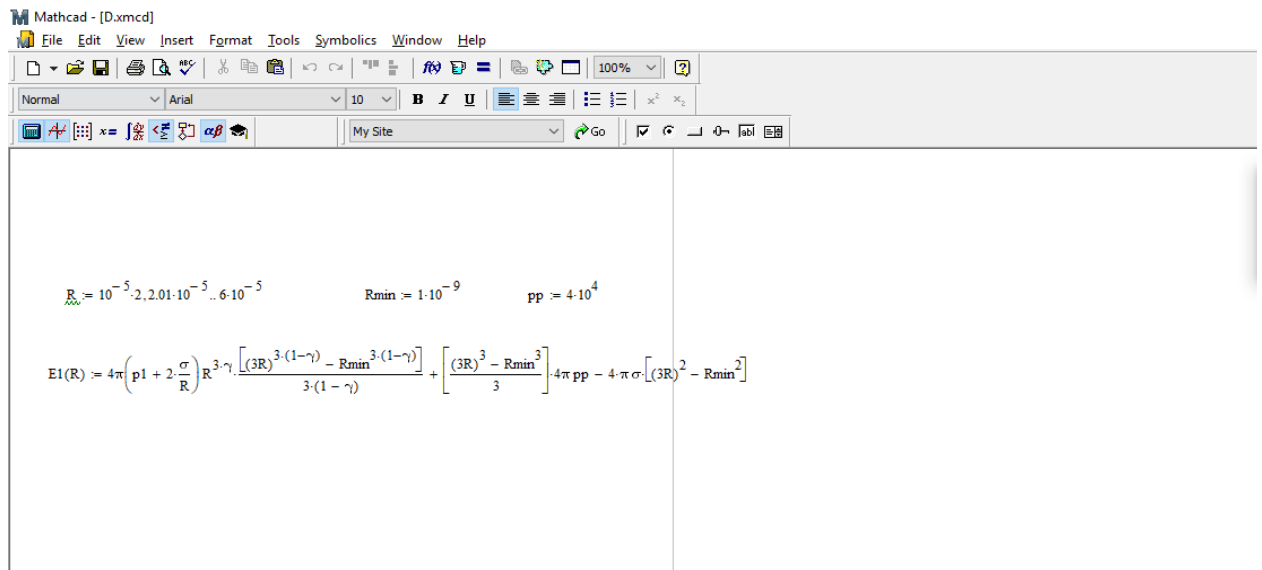


Рис 3.5. Розрахунки за вище приведенною математичною моделлю із заданими параметрами у MathCAD.

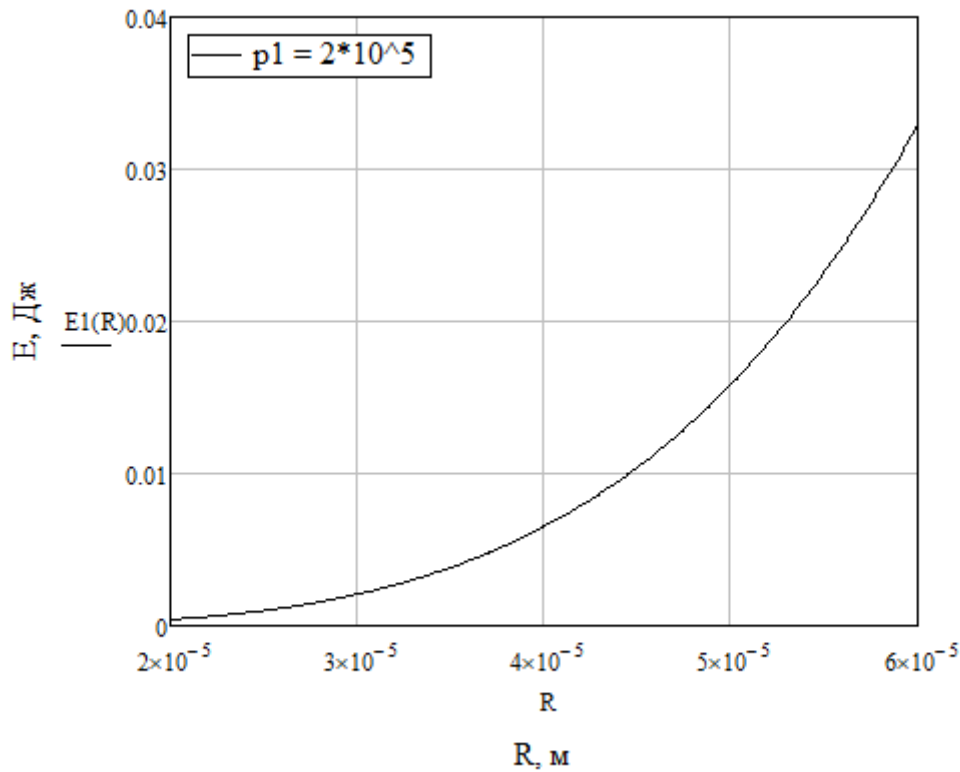


Рис.3.6. Енергії схлопування пухирців за вище зазначених умов.

Тобто всередньому пухирець схлопується з енергією $E = 0.001 \text{ Дж}$. Ми знаємо потужність кавітатора. Тобто можемо сказати яку кількість енергії він передасть молоку за секунду. Завдяки цій енергії ми маємо змогу порахувати кількість пухирців, що знаходяться в молоці протягом однієї секунди:

$$N = \frac{W}{E} = \frac{400}{0.001} = 400000 \text{ од.} \quad (3.5)$$

Для визначення кількості пухирців, що з'являються у молоці одночасово необхідно визначити час життя пухирця. Для цього необхідно урахувати, життєвий цикл пухирця продовжується протягом всередньому 15-25 коливень[24].

Враховуючи, що частота = 22400 Гц, маємо:

$$t = \frac{22400}{20} \approx 10^{-4} \text{ с} \quad (3.6)$$

Таким чином отримаємо кількість пухирців, що схлопуються за одиницю часу:

$$n = \frac{400000}{10000} \approx 40 \text{од.} \quad (3.7)$$

Коли ми маємо кількість пухирців, що схлопуються одночасно, ми можемо сказати який тип схлопування протікає при цьому. Для цього необхідно визначити відстань між пухирцями в об'ємі і якщо ця відстань менш ніж $4R$, то пухирці схлопуються струменевим типом.

Для цих розрахунків примемо допущення, що пухирці рівномірно розподілені в об'ємі.

$$Va = H \cdot \pi R^2 = \pi \cdot 10^{-6} \cdot 72 = 225 \cdot 10^{-6} \text{м}^3 \quad (3.8)$$

Тоді на один пухирець приходить $V = 5.6 \cdot 10^{-6} \text{м}^3$. А це сфера радіусом:

$$R = \sqrt[3]{\frac{0.75V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{0.75V}{\pi}} = 1.12 \cdot 10^{-2} \text{м} \quad (3.9)$$

Як ми бачимо з формули 3.9, відстань між пухирцями в 100 разів перевищує радіус пухирця. Тому робимо висновок, що пухирці схлопуються поодиночі, розповсюджуючи сферичні хвилі.

Визначимо яка кількість енергії потрапляє в молоко при його обробці за витрати 10л/хв. За цієї витрати об'єм активної зони проходить через патрубок протягом часу t (3.10):

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{225 \cdot 10^{-6}}{0.17 \cdot 10^{-3}} = 1,3 \text{ с} \quad (3.10)$$

З цього випливає, що всього в заданому об'ємі в молоці проходить близько $Nm = 400000 \cdot 1,3 = 520000$ схлопувань. Та кожне з них протікає розповсюджуючи радіальні хвилі.

Примемо, що ці пухирці схлопуються одночасно, тоді визначимо яку кількість об'єму приходить на одне схлопування:

$$V = \frac{Va}{Nm} = \frac{225 \cdot 10^{-6}}{520000} = 4,3 \cdot 10^{-10} \text{м}^3 \quad (3.11)$$

Повертаючись до 40 одночасних схлопувань, постає питання: «Яку частину всього об'єму покривають ці 40 схлопувань?» Для відповіді на це питання ми звернемося до робіт Луговського Олександра Федоровича[15], праці Дж.Лайтхілла[27] та праці [26], де зазначено, що за наших умов в молоці коефіцієнт розсіяння = 11, або вразлива сила хвилі при схлопуванні розповсюджується на відстань приблизно 11 R від центру бульбашки. Таким чином, одна бульбашка покриває об'єм(3.12):

$$V_0 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot (4.5 \cdot 11 \cdot 10^{-5})^3 = 4,95 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \quad (3.12)$$

З цього вирахуємо приблизну необхідну кількість пухирців. Для цього розділемо об'єм активної зони на об'єм, що знешкоджує один пухирець.(3.13):

$$N_0 = \frac{Va}{V_0} = \frac{225 \cdot 10^{-6}}{4.95 \cdot 10^{-10}} = 455000 \quad (3.13)$$

Як ми бачимо, за нашою математичною моделлю ми отримали 520 000 пухирців в одиничному об'ємі молока, а для проведення повної пастеризації необхідно 455 000 пухирців за умов розподілення по всьому об'єму. Різниця становить 65 000, або ми маємо на 14 % схлопувань більше, аніж необхідно.

За цими результатами можна зробити висновок, що враховуючи припущення про рівномірне розташування пухирців можна сказати, що пастеризація пройде успішно, і буде знищено біля 99% бацил. Один відсоток залишається на зону біля стінок труби, де кавітація відбувається з найменшою інтенсивністю.

3.2 Опис експериментальної установки

Експерименти проводилися на експериментальному стенді сконструйованому на ДП "Старокостянтинівському молочному заводі". Стенд складеться з (рис. 3.7) насоса, трубчастого кавітатора, баку, клапана тиску, манометру, розподільника та розвантажувального патрубка.

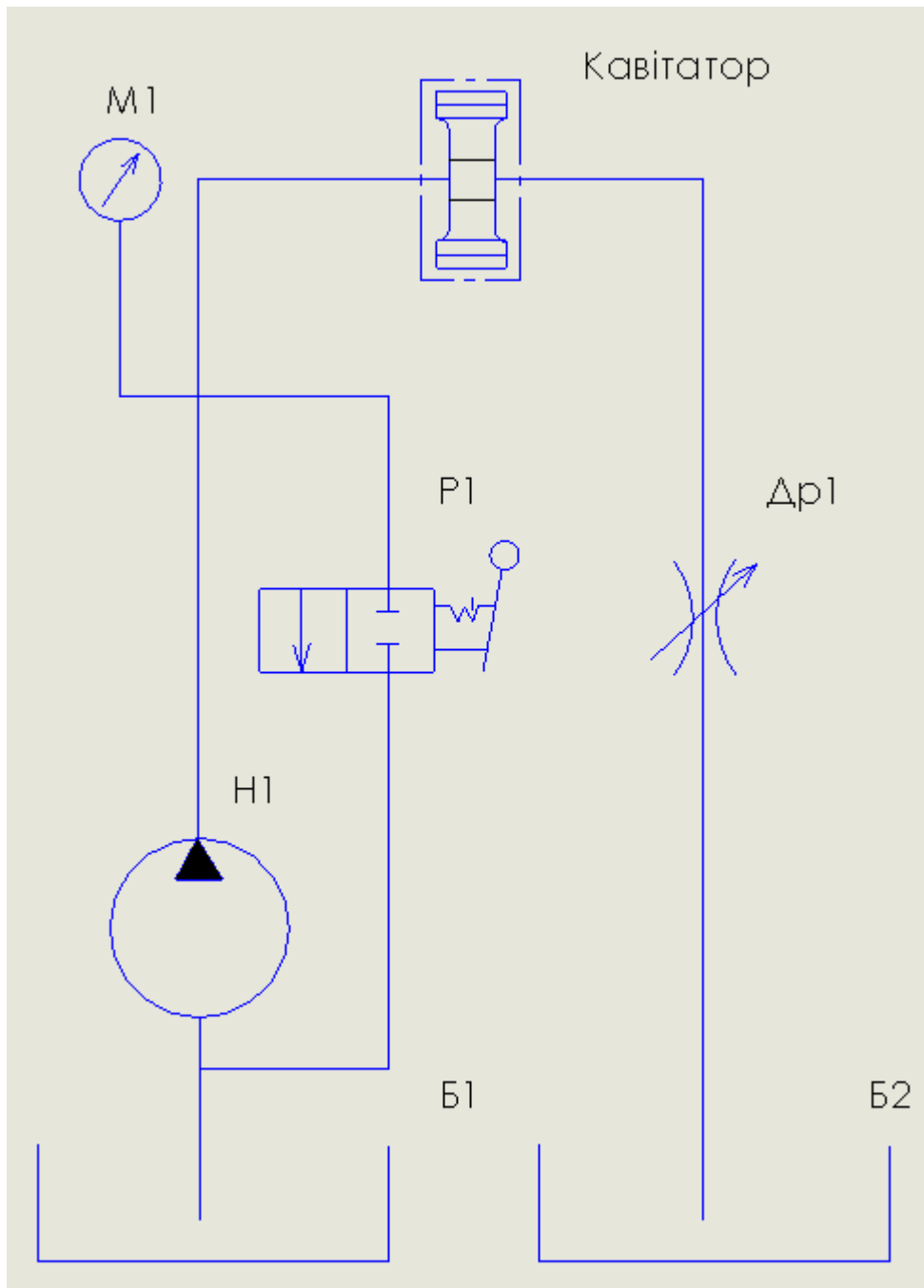


Рис 3.7. Експериментальний стенд на ДП "Старокостянтинівський молочний завод".

Основним елементом є трубчастий кавітатор. Система працює за наступним циклом(фото стенду приведене на рис 3.8):

З баку з необробленим молоком(Б1) насос(Н1) перекачує молоко в бак з молоком після обробки (Б2). На шляху, молоко протікає крізь кавітатор, за кавітатором стоїть дросель, який утворює надлишковий тиск в системі. Всередині молоко підлягає обробці ультразвуком, механізм роботи якого зазначений вище.

Для використання обладнання в харчовій промисловості необхідно щоб воно відповідало специфічним нормам харчової промисловості. Переважна більшість деталей харчового обладнання контактує з корозійно-активними технологічними середовищами. Особливо інтенсивно руйнуються деталі, що працюють у кислих середовищах, наприклад у молочній кислоті. Тому їх потрібно виготовляти з дорогої нержавіючої сталі або захищати від корозії за допомогою антикорозійних покриттів.[28]

Високі норми безпеки ставлять до обладнання з точки зору шкідливих викидів у продукт: змазуючих рідин, металевої стружки, та інших можливих забруднень.

Та перед роботою з харчовими продуктами, а саме з молоком, для підготовки обладнання необхідно пропустити крізь це обладнання рідину для промивки, та після цього воду температурою 60 градусів С.[39]



Рис 3.8. Фото стенду для іспитів обробки молока ультразвуком

Експериментально було досліджено трубчастий кавітатор, збуджуваний на нульовий моді коливаль, тобто здійснюючий тільки радіальні коливання. Збудження коливаль трубчастого кавітатора здійснювалося за допомогою чотирьох п'єзоелектричних приводів осьових переміщень зі східчастими трансформаторами швидкості коливаль. Приводи встановлені на зовнішній циліндричній поверхні вібратора і забезпечують підведення до трубчастого вібратора ультразвукової енергії. Для зменшення спотворень форми коливаль вібратора при зовнішньому підводі ультразвукової енергії ступені малої площі

трансформаторів швидкості коливання виконані ножевидними і розташовані уздовж твірної зовнішньої циліндричної поверхні вібратора[27].

Вібратор, що здійснює подібні коливання, забезпечує фокусування ультразвукового коливання в області поздовжньої осі трубчастого профілю. Для виключення радіально-згинальних хвиль уздовж поверхні трубчастого профілю його довжину вибирають меншу половини довжини хвилі цих коливань.[27]

На рис 3.9 показано принципову схему УЗ кавітатора[40]:

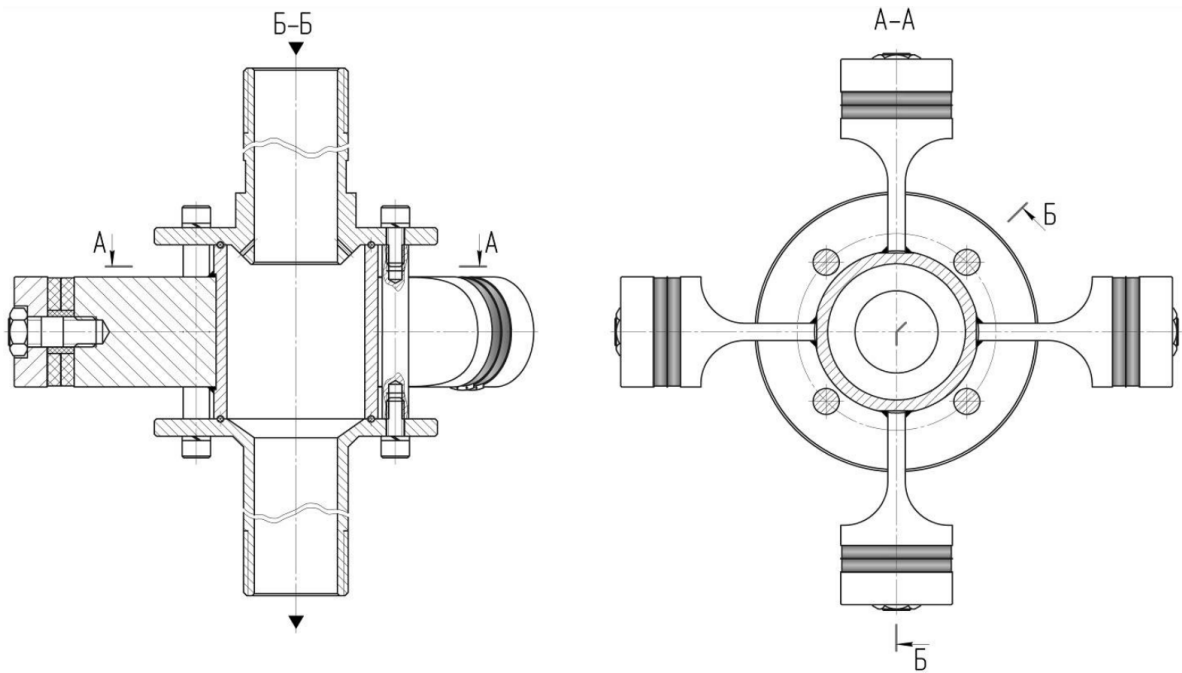


Рис 3.9 Принципова схема УЗ кавітатора[40]

Цей кавітатор має наступні переваги:

- велика поверхня обробки;
- концентрація ультразвукової енергії вздовж осі камери;
- довговічність випромінюючої поверхні;
- здатність інтенсивність ультразвукових колебань до 100 Вт/см^2 ;
- здатність застосування підвищеного статичного тиску;
- обробка рідини в потоці.[40]

Як вже було зазначено вище – розподіл енергії в камері не рівномірний, а саме як показано на рис 3.10[40]:

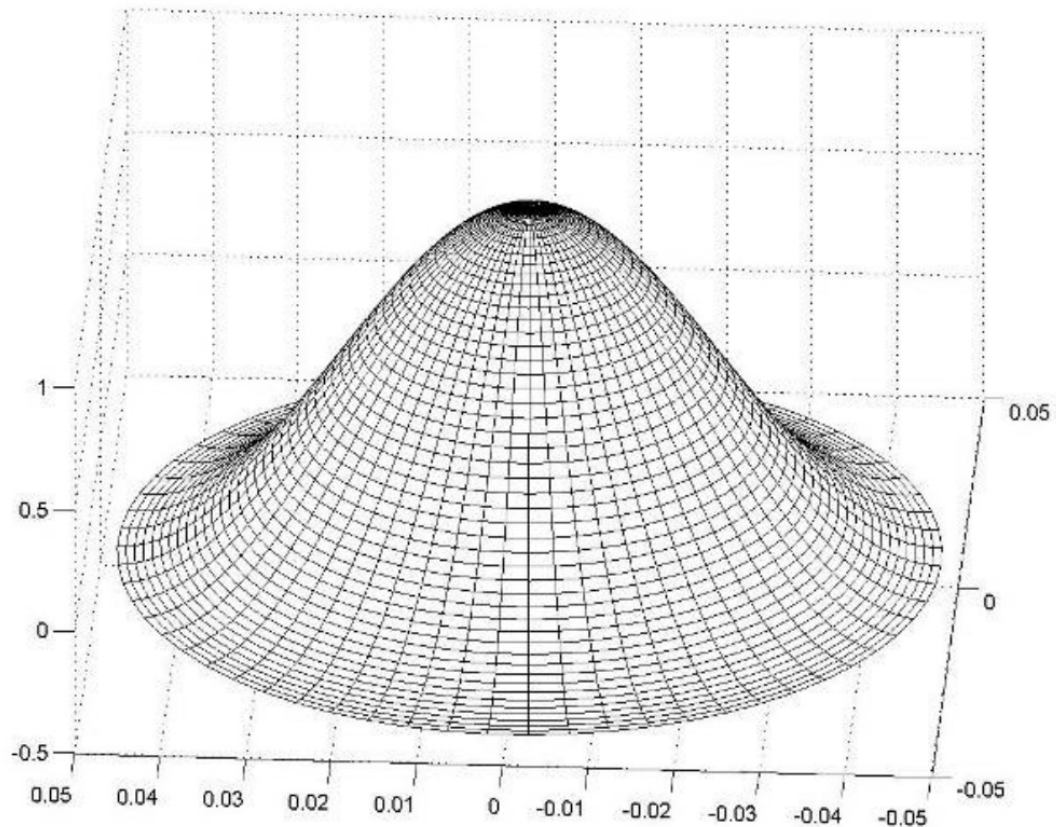


Рис 3.10. Форма ультразвукового поля в циліндричній камері при збудженні радіальних коливань.[40]

Все це ми враховуємо в вище приведеній математичній моделі та змодельовавши процес отримуємо нижче приведенний результат.

3.3 Методика проведення експериментів та результати іспитів

Збираємо стенд за схемою зображеною на рис 3.7, підключаємо усі апарати до електромережі. Повністю перекриваємо дросель Др1 та переводимо розподільник Р1 у відчинений стан. Зливний патрубок розміщуємо поряд із всмоктуючим у баку Б1. Запускаємо насос у холостому ході, після цього повністю відкриваємо дросіль Др1. Далі перекриваємо розподільник Р1. Після цього контролюючи тиск на манометрі М1, закриваємо дросіль Др1 доки тиск не зафіксується на позначці 1МПа. Надалі відкриваємо розподільник Р1 та вимикаємо насос.

Після цього переміщуємо зливний патрубок у бак Б2 та включаємо кавітатор. Надалі знов запускаємо насос та відчиняємо розподільник Р1, та доки йде процес обробки, контролюємо дроселем Др1 тиск на манометрі М1 рівним 1МПа. Всередині камери

ультразвукового трубчастого вібратора уздовж його вертикальної осі протікає молоко, яке піддається ультразвуковому озвученню. Після того, як рівень в баку Б2 сягне граничної позначки, ми знов відчиняємо розподільник Р1 та вимикаємо насос. Переносимо зливний патрубок знов у бак Б1 та передаємо молоко з баку Б2 в лабораторію на дослідження.

Результати іспитів приведені на рис 3.11. Тут ми бачимо червону лінію, що описує падіння кількості бактерій в молоці згідно математичної моделі приведеної вище. Також ми бачимо синю лінію, яка описує результати проведених експериментів. Тут ми бачимо, що форма та напрямок кривих як теорії, так і практики співпадають, а кінцеве значення експериментальних даних декілька нижчі, ніж експериментальних даних.

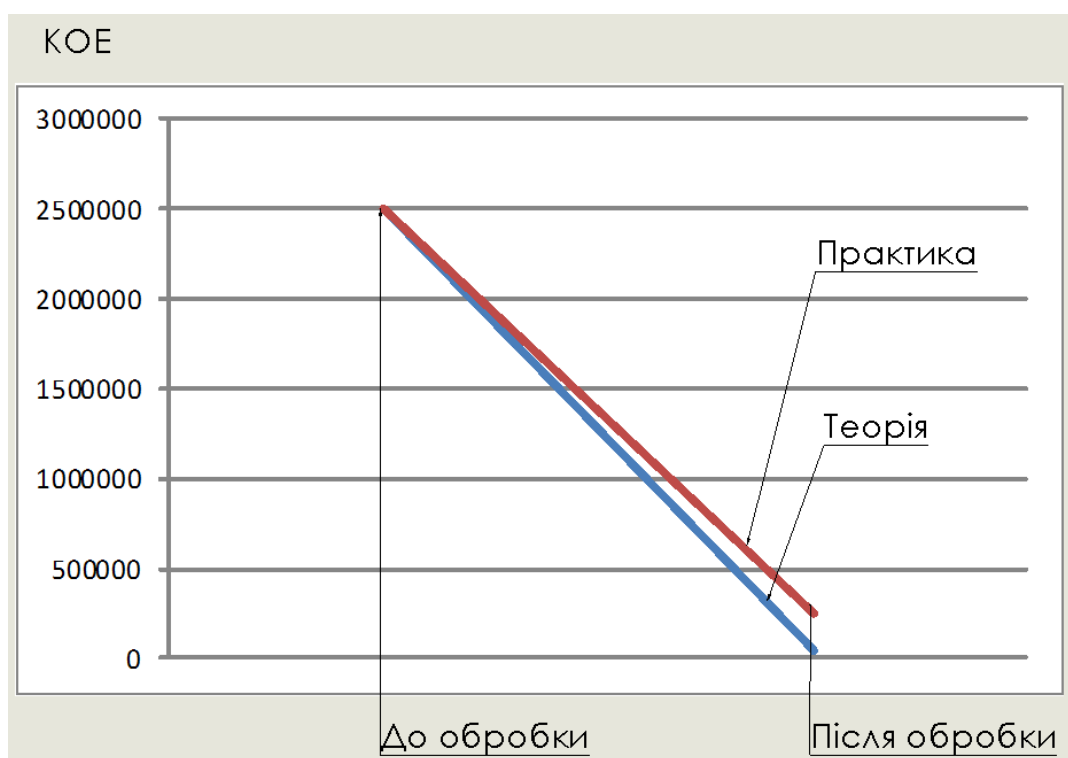


Рис 3.11. Результати обробки молока.

В необробленому молоці містилося 2 500 000 КОЕ хвороботворних бактерій. Внаслідок обробки їх чисельність знизилася до значення 40 000 КОЕ.

Висновки по розділу

Експериментальним шляхом нами було підтверджено, що ультразвукова кавітаційна обробка дійсно знижує кількість хвороботворних бактерій, як і прогнозувала математична модель. Але виявлена невелика розбіжність кінцевих даних, що дорівнює 1,6%. Це

обумовлене тим, що в математичній моделі ми задавалися усередненими даними, саме цьому в кінцевих даних ми отримали невелику розбіжність.

Також є деяка неточність пов'язана з характером розподілення ультразвукового поля в площині. Саме в наслідок цього явища ми не можемо однозначно спрогнозувати на якій відстані від стінок кавітатора буде проходити кавітація. Та судячи з того, що стінки активної зони зазнали більшого руйнування аніж прилежні патрубки, логічно заключити, що вздовж стінок як і в середині рідини протікає процес кавітації, але він обумовлен нижчою інтенсивністю. Це ще раз підтверджують результати експериментів, але не грантує, що прийнятий нами коефіцієнт на розподілення звукового поля завжди буди залишатися приблизно рівним 0.99, тобто 1% необробленого молока припадатиме на зону біля стінок. А як ми бачимо з експериментів, в нашому випадку на цю зону припадає більша кількість молока.

При обраних умовах проведення експерименту, після обробки молока було виявлено, що кількість хвороботворних бактерій знизилась на 98.4%. Це підтверджує можливість і доцільність використання ультразвукової обробки молока з ціллю пастеризації останнього.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ

Кожна людина протягом життя випиває велику кількість молока. Це молоко проходить складний шлях від корови до прилавку магазину. Протягом цього шляху формується 90% ціни на молоко. Але дороговизна обладнання це не єдина проблема, що постає в обробці молока. Ця промисловість пов'язана з великими ризиками, що супроводжують працю з сировиною отриманою від населення.[41]



Рис. 4.1. Ємність з молоком[44]

Кожна людина продає своє молоко заводському закупівнику, та він в свою чергу зліває усе молоко в один великий контейнер (рис 4.1), не маючи змоги перевірити якість молока. Але у різних людей залежно від стану господарства якість молока вар'юється надзвичайно сильно. Так наприклад забрудненість бактеріями може вар'юватися в 10 разів. Після цього ці автомобілі проходять відстань 50 – 350 км по дорозі при температурі, що досягає 40

градусів С(рис 4.2).[42,43]



Рис 4.2. Дорога слідування молоковозу.

Враховуючи українськи дороги ми розуміємо, що це молоко може бути придбано або лише біля заводу, або буде їхати за жорстких умов протягом 4-5ч. Тоді постає питання, яким буде це молоко, коли воно прибуде на завод. Та на скільки великі втрати несе виробник, що оплачує настільки довгі перевезення та настільки довгий простій, адже молоко весь цей час лише становиться гірше.[44]

Наступний негативний чинник являє з себе дороговизна, низька ефективність, висока ціна та великий об'єм зайнятої площі обладнання для обробки. Так пастеризатор являє собою величезну машину (рис 4.3) в якій енергія тратиться на генерацію пару, нагрів та охолодження молока, а також на протискування цього молока крізь тонкі патрубки.[45]



Рис 4.3. Пастеризатор парової технології.

Не менш затратними є машини для гомогенізації молока. Досить часто їх поєднують з пастеризаторами(рис 4.4).[46]



Рис 4.4. Пастеризатор парової технології поєднаний з гомогенізатором.

Таким чином молокозавод потребує великих площ для устаткування, та є великі проміжки часу бездіяльності над молоком (транспортування). [45]

Але що, якби замінити всю цю велику кількість обладнання (рис 4.5) на складну систему, що не потребує ані великих виробничих площ, ані затрат на нагрівання та охолодження і згодом міг би вирішити питання знезараження під час транспортування.



Рис. 4.5. Виробничі площі

На допомогу приходить один з методів альтернативної обробки молока, а саме метод за допомогою кавітації. Цей метод описано вище та він має великі перспективи в використанні на виробництві та всі шанси у повномасштабному поширенні. Завдяки невеликому розміру та великому ККД цей метод має змогу повністю витіснити метод пастеризації за

допомогою пару, користуючись гігантськими машинами з низькою ефективністю навіть за умов режиму рекуперації тепла.[47]

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту лежить у тому, щоб застосовувати ультразвукову кавітацію для обробки молока, а саме його гомогенізації та пастеризації. В цьому проекті розглянута послідовність взаємокорисних зв'язків що надає змогу отримати корисний результат як розробникам обладнання, заводам що використовують обладнання, так і користувачеві цього продукту, а також навчальному закладу та науковцям, які матимуть змогу експериментувати за рахунок інвестицій у кавітаційне обладнання, як його розробники та налаштувачі.

Таблиця 4.1.

Ідея проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Замінити великі пастеризатори – гомогенізатори молока на систему наведену вище для гомогенізації і пастеризації молока за допомогою ультразвуку.	Обробляти молоко на молокозаводах.	Висвободження промислових площ. Зниження витрат на обробку та обладнання.
	Обробляти молоко при прийомі від людей	Знижати кількість бактерії у молоці до транспортування, що подовжує можливий час для транспортування. Ця обробка найефективніша та значно знижує ризики закисання.
	Обробляти молоко при транспортуванні	Транспортування – найдовший етап для виробника, якщо поєднати транспортування та обробку, це надзвичайно підвищить ефективність виробництва молока.

До сильних сторін запропонованого проекту можна віднести:

- Мобільність запропонованої системи – система живить 400Вт тому може бути встановлена та працювати навіть на причепі молоковоза.
- Універсальність – система може працювати з усіма варіаціями молока незалежно від кількості жиру тиску та інших умов, але усі вони повинні враховуватися в налаштуваннях системи.
- Ефективність – ККД системи порядку 0.8, що є надзвичайно великий показник, проти старих систем, де найвищий ККД досягав 0.32.
- Компактність – система займає у 10 разів менше простору ніж стара система.

Однак система має і слабкість:

- Високу інтелектуальну насиченість – для використання цієї системи потрібно великі інвестиції для розробки приладів за вище зазначеною технологію включаючи soft для саморегуляції та самоналаштування системи.

4.2 Технології застосовані в проекті

Найголовніша технологія, що була використана в проекті, - це технологія ультразвукової обробки. Це робиться за допомогою ультразвукового кавітатора (рис 4.6).



Рис 4.6. Ультразвуковий кавітатор

Такий кавітатор може бути виготовлений за патентом №112827 «Пристрій для ультразвукової кавітаційної обробки рідини».

Усі необхідні ресурси для виготовлення пристрою представлені на ринку, та існує можливість використання визначеного патенту за певних умов.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску проекту

Таблиця 4.2. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Більше 20
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	400 млн. грн.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Спадає на 3.3% за рік
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	<p>ДСТУ 2212:2003. Молочна промисловість виробництво молока та кисломолочних продуктів. Цей стандарт установлює українські терміни та визначення понять стосовно виробництва молока та кисломолочних продуктів.</p> <p>Терміни, установлені цим стандартом, обов'язкові для вживання в усіх видах нормативних документів, що стосуються виробництва молока та кисломолочних продуктів, а також для робіт зі стандартування.</p> <p>Вимоги стандарту чинні для застосовування у роботі підприємств, установ, організацій усіх форм власності, що діють на території України, технічних комітетів стандартизації, науково-технічних та інженерних товариств, міністерств (відомств).</p>
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	17,9%

За таблиці 4.2 видно, що за попереднім оцінюванням є ринок привабливим для входу.

Компанія замовник - ДП "Старокостянтинівський молочний завод".

Проведімо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.3). Фактори в таблицях подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.3

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Іноваційність	Можуть виникати непередбачені проблеми у процесі впровадження	Відмова від переходу на новий тип обробки або додаткове фінансування
2	Нестійкість політичної та економічної ситуації в країні	Можлива криза внаслідок якої припиниться фінансування	Зупинка фінансування, закриття проекту
1	Підвищення ефективності циклу переробки	Скоротити витрати на оренду приміщень та використання обладнання.	Повний перехід заводу на новий тип обробки.
2	Покращення якісних показників	Збереження вітаміну С, Підвищена усвояємість.	Повний перехід заводу на новий тип обробки.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку, також за різними ймовірними типами конкуренції визначаємо ймовірний вплив на діяльність підприємства та на діяльність взаємодіючих структур, визначаємо реакційні дії та можливий сценарій розвитку подій. Із цього робимо прогнозування ймовірних ризиків виходячи із різних типів конкуренції та результируючих дій. Після повного обзору конкуренцій переходимо далі (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Присутньо більше 20 виробників, при цьому ринок поділено між ними майже однаково	Зменшення собівартості та підвищення якості, компанія завоює більшу частин ринку
2. За рівнем конкурентної боротьби	Міжнародна	Міжнародна конкуренція сприяє переливанню капіталів і товарів між різними державами, забезпечує збалансований розвиток світового ринку і світового господарства.
3. За галузевою ознакою - міжгалузева/ внутрішньогалузева	внутрішньогалузева	Наслідком внутрішньогалузевої конкуренції є впровадження досягнень науки і техніки, зниження витрат виробництва, підвищення якості продукції.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова - товарно-видова - між бажаннями	товарно-родова	На ринку молока веде конкурентну боротьбу з іншими типами питного молока
5. За характером конкурентних переваг - цінова / нецінова	Нецінова	Головною конкурентною перевагою є унікальність обробки.
6. За інтенсивністю - марочна/не марочна	Марочна	ситуація на ринку, де компанія розглядає як своїх конкурентів компанії, що

		пропонують подібний продукт тим же цільовим покупцям
--	--	--

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На ринку спостерігається тенденція до скорочення кількості підприємств і посилення конкуренції на ринку.	Бар'єри входу на ринок є доволі значними. Вартість організації бізнесу з виробництва молока сягає 500 тис. дол. Обов'язковою є сертифікація продукції.	Існує чітка залежність від постачальників як якості продукції, так і можливих обсягів її виробництва.	Споживачі мають широку географію. Бізнес має постійний характер. Зимому необхідно заохочувати додаткові ресурси.	Відсутні
Висновки:	Має місце інтенсивна конкурентна боротьба з боку прямих конкурентів	Можливість входу на ринок низька.	Постачальники диктують умови на ринку за рахунок якості та обсягів виробництва	Клієнти диктують умови на ринку через згоду/незгоду купувати молоко після нової технології обробки	Відсутні

На основі аналізу конкуренції, проведеного вище в (табл. 4.6), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.1), вимог споживачів до товару (табл. 4.2) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.4 - 4.5) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюємо за табл. 4.7.

Таблиця 4.7

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Унікальність позиціонування	В умовах чистої конкуренції, коли фактор ціна/якість є ключовим засобом ведення конкурентної боротьби, важливим є створення та підтримання унікального ефективного шляху обробки, що створює певний захист від конкурентних зіткнень.
2	Ціна	Оскільки молоко є товаром постійної покупки при тому, що споживач має високу цінову чутливість, ціна на товар є одним з засобів ведення конкурентної боротьби. Тому чим вигіднішою є ціна для споживача, тим вірогідніше його вибір.
3	Репутація виробника	За рахунок того, що в світі популяризація концепції екологічно чистого виробництва, а також введення відповідних стандартів робить величезний вплив на розвиток різних сегментів промисловості, споживач при виборі нашого продукту керується також впливом технології на світову екологію. Це важливо при виході на ринок з новими товарами, або при виході на нові сегменти, що полегшує позитивне сприйняття новинок.

4	Маркетинговий бюджет	Від розміру маркетингового бюджету залежить здатність здійснювати маркетингову стратегію підприємства. Маркетингові заходи мають забезпечувати інші конкурентні переваги такі, як рівень диференціації, лояльності, репутація виробника, дистрибуція та просування.
---	----------------------	---

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.7) проводитимемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл.4.8).

Таблиця 4.8

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з даним проектом						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
	Інноваційність	4							X
	Ціна							X	
	Репутація виробника							X	
	Маркетинговий бюджет					X			
	Ризики		X						

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.9) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.8).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.9

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Інноваційність;	Слабкі сторони:
---------------------------------------	-----------------

2. Покращення техніко-економічних показників підприємства 3. Скорочення технологічного циклу; 4. Висока ефективність 5. Висока якість продукту	1. Не відпрацьованість технології
---	-----------------------------------

Таблиця 4.9. Продовження

Можливості: 1. Можливість поєднати транспортування з обробкою в одночасну операцію 2. Можливість збільшення відстані перевезення	Загрози: 1. Перевищення бюджету внаслідок появи непередбачених робіт
---	--

На основі SWOT-аналізу обираємо SO стратегію виходу на ринок. Це обумовлене великою кількістю сильних сторін та можливостей.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.10).

Таблиця 4.10.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Використання засобів стимулювання збуту на технологічних виставках та конференція для збільшення продаж товару <i>(більш глибоке проникнення на ринок)</i>	Дозволяє суттєво збільшити обсяги продаж. Потребує маркетингових витрат, спланованих та координованих дій	0,5 року

2	Впровадження індивідуального підходу до кожного замовника (розвиток товару)	Можливість залучення нових споживачів. Потребує значних капіталовкладень на розробку та виведення на ринок	1 рік
---	--	---	-------

Таблиця 4.10. Продовження

3	Збільшення представленості в різних регіонах (розвиток ринку)	Можливість розширення охоплення цільової аудиторії. Потребує значних капіталовкладень на створення додаткових філій в регіонах	4 роки
4	Налагодити виробництво універсальних кавітаторів (диверсифікація)	Дозволяє привернути увагу споживачів, залучити додаткових. Потребує значних фінансових вкладень у розробку та тестування нового продукту	2 роки

Враховуючи ймовірність отримання ресурсів та найкоротші строки реалізації, обрано першу альтернативу.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11.

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Молокозаводи	+	високий	низька	середня
2	Біологічні інститути	+	низький	середня	середня
Які цільові групи обрано: обрана перша група потенційних споживачів					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) визначена стратегія охоплення ринку: компанія працює із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму (включно із характеристиками товару/послуги), значить використовується диференційований маркетинг.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Розвиток ринку	Масовий маркетинг	Високі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів	Стратегія лідерства по витратах
2	Розвиток товару	Диференційовани й маркетинг	Відмітні властивості товару і завойована прихильність клієнтів захищають фірму і від товарів-замінників	Стратегія диференціації
3	Більш глибоке проникнення на ринок	Концентрований маркетинг	Задоволення потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти	Стратегія спеціалізації

На основі таблиці 4.12 обрана базова стратегія розвитку - стратегія диференціації.
Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.13).

Таблиця 4.13

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Стратегія лідера
2	Ні	Так	Ні	Стратегія виклику лідера
3	Ні	Ні	Так	Стратегія наслідування лідера
4	Так	Ні	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі таблиці 4.13 стратегія конкурентної поведінки - стратегія лідера.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 4.1), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.11) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.12) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.14). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.14

Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Доступна ціна	Стратегія лідерства по витратах	Використання методу ціноутворення на основі аналізу беззбитковості	Доступність, масштабність, досвід

Таблиця 4.14. Продовження

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
2	Відмінні властивості продукту	Стратегія диференціації	Посилити використання таких конкурентних переваг як унікальне позиціонування та рівень диференціації	Відмінність, незамінність, новації
3	Задоволення конкретних потреб	Стратегія спеціалізації	Стимулювати збут та засоби торгового маркетингу в межах вибраного цільового сегменту	Індивідуальність, локальність, низька ринкова доля

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування *маркетингової концепції* товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.15 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Покращення ефективності молокообробки	Зменшення витрат на роботу обладнання	Інноваційність технології
2	Покращення якісних показників	Збільшення якості, зменшення собівартості	Збільшення усваяємості , зменшення витрат на обробку

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.16). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.16. Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
100-150 тис. грн.	-	6 млн грн	200 тис. грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл.4.17):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.17. Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
---	--------------------------------------	-------------------------	-----------------------------

	постачальник товару		
Характерно для наукомістких галузей зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів, які	Просування на ринок подібних продуктів в рамках даної системи збуту не вимагає будь-якої широкої реклами. Швидше	Канал нульового рівня	Канал складається з виробника, який продає свій товар безпосередньо споживачам (через відділ збуту, збутові

Таблиця 4.17. Продовження

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
потребують специфічних компонентів для свого специфічного фінального продукту (машинобудування з виробництвом за індивідуальними замовленнями або дрібними серіями).	потрібно одного разу з'ясувати, хто з потенційних покупців інновацій може в них потребу і яка поточна платоспроможність даного клієнта.		філії, мережу фірмових магазинів, посилкову торгівлю тощо)

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.18).

Таблиця 4.18. Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
---------------------------------------	---------------------------	--	----------------------------------	--------------------------------

	користуються цільові клієнти			
Наукові галузі зі специфічним і (або) дорогим товаром, який може бути придбаний обмеженим числом споживачів	Включають в себе пряму поштову розсилку, замовлення по друкованим каталогам і продаж в режимі он-лайн.	Конкурентне позиціонування, яке базується на демонстрації переваг товарів підприємства над товарами конкурентів.	Отримати можливість у кілька разів збільшити обсяг продажу своїх товарів	Головними елементами структури реклами є тема реклами і девіз рекламної кампанії.

Висновки по розділу

Було проведено аналіз можливості ринкової комерціалізації проекту. За результатами аналізу було виявлено, що технологічна реалізація проекту можлива, визначені його сильні та слабкі сторони, конкурентні позиції на ринку обладнання для обробки молока.

Даний ринок є привабливим для входження через інноваційність продукту. З огляду на потенційні групи клієнтів, незначні бар'єри входу на ринок та високий рейтинг у порівнянні з товарами конкурентів, даний проект можна вважати перспективним для впровадження.

Для ринкової реалізації була обрана альтернатива вибіркового проникнення на ринок, яка дозволяє мінімізувати ризики пов'язані з інноваційною складовою та отримати додаткове фінансування зважаючи на те, що сумарний обсяг інвестицій становить \$248000.

Отже, має місце доцільність подальшої імплементації проекту.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Право на безпечні та нешкідливі умови праці визнані в Україні одним з конституційних прав людини і громадянина. Забезпечення цього права здійснюється за допомогою системи правових соціально-економічних організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних лікувально-профілактичних заходів та засобів. У своїй сукупності нормативні акти про охорону праці - це правила стандарти, норми, положення. Інструкції, і інші документи, яким надано чинність правових норм обов'язкових для виконання. Покращання умов праці підвищується за рахунок суворого дотримання вимог охорони праці під час проведення технічних робіт, що дає змогу підвищити рівень використання робочого часу, в наслідок чого ми можемо спостерігати підвищення якості продукції, покращання використання основних виробничих фондів, зменшення кількості аварій.

У даній роботі досліджується система для знезараження молока ультразвуковою кавітаційною обробкою. Розрахункова та теоретична частина роботи проводиться за комп'ютером. Основна частина роботи проводиться в лабораторії на експериментальному стенді. Для безпечної та правильної роботи необхідно дотримуватись норм охорони праці.

5.1. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів при роботі

Основними шкідливими та небезпечними чинниками при роботі за експериментальним стендом є:

- Мікроклімат
- Освітлення
- Шум
- Електрична безпека
- Пожежна безпека приміщення

Дана робота виконувалась переважно в лабораторії на ДП «Костянтинівському молочному заводі». Було проаналізовано можливі шкідливі та небезпечні фактори при роботі в лабораторії та визначені параметри які відповідають чи не відповідають нормам охорони праці. Зроблені висновки по підвищенню безпеки при роботі в даному приміщенні.

5.2 Мікроклімат

Порушення параметрів мікроклімату на робочих місцях сприяє створенню шкідливих і небезпечних мікрокліматичних умов, які при спільній дії на людину викликають значні зміни теплового стану, що може призвести до порушення стану здоров'я працівників заводу.

В таблиці 5.1 приведені оптимальні та допустимі норми показників мікроклімату значення згідно до ДСН 3.3.6.042-99 та їх фактичні значення.

Таблиця 5.1

Допустимі, фактичні та оптимальні показники мікроклімату на робочих місцях виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт за рівнем енерговитрат, Вт		Допустимі		Фактичні	Оптимальні
			діапазон нижче оптимальних величин	діапазон вище оптимальних величин		
Холодний	Іа (до 141-175)	Температура повітря, °С	18-26	24,1 - 25,0	20 - 21	22 - 24
		Температура поверхонь, °С	19,0- 26,0		20 - 23	21 - 25
		Відносна вологість повітря, %	75		50	60 - 40
		Швидкість руху повітря, м/с	не більше 0,1		0,1	0,1
Теплий	Іа (до 141-175)	Температура повітря, °С	21,0 - 22,9	25,1 - 28,0	22 - 23	23 - 25
		Температура поверхонь, °С	25,1 - 28,0		22 - 25	22 - 26
		Відносна вологість повітря, %	15 – 75		50	60 - 40
		Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,2	0,1	0,1

В даному приміщенні протягом року підтримується температура повітря 20-23°C, що є нормою для комфортної роботи. Дане приміщення обладнане системою вентиляції, що

підтримує необхідний повітрообмін і вологість повітря приблизно 50%. Двічі на день проводиться вологе прибирання приміщення (до та після роботи).

На заводі зостосовується система кондиціонування від Robatherm. Вона обладнана автоматичною системою клімат контролю та має підвищену чутливість у зоні лабораторії.

Отже приміщення з точки зору мікроклімату цілком сприйнятне для проведення дослідів та роботи в ньому.

5.3 Освітлення

Для роботи з експериментальним стендом необхідно забезпечити добре освітлення приміщення. В даній лабораторії використовується як природне так і штучне освітлення. А оскільки освітлення виробничих та допоміжних приміщень повинно відповідати діючим санітарним вимогам до природного і штучного освітлення, нормам проектування.[29]

Проведемо розрахунок штучного освітлення:

Для визначення кількості світильників визначимо світловий потік, падаючий на поверхню по формулі:

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n} \quad (5.1)$$

де F – світловий потік, що розраховується, Лм; E – нормована мінімальна освітленість, Лк (визначимо по таблиці).

Роботу можна віднести до розгляду точних робіт, отже, мінімальна освітленість буде $E=300$ Лк при газорозрядних лампах:

S – площа освітлювального приміщення (у нашому випадку $S=250\text{м}^2$);

Z – відношення середньої освітленості до номінальної (зазвичай приймається рівним 1.1-1.2, нехай $Z=1.2$); K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення визначається по таблиці коефіцієнтів запасу для різних приміщень і в нашому випадку $Do=1.5$); n – коефіцієнт використання (виражається відношенням світлого потоку, падаючого на розрахункову поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і обчислюється в долях одиниці; Для цього необхідно обчислити індекс переміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A + B)} \quad (5.2)$$

де S – площа приміщення, $S=250\text{м}^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h=5\text{ м}$;

A – ширина приміщення, $A=25\text{ м}$;

B – довжина приміщення, $B=10\text{ м}$.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{250}{5(25 + 10)} = 1.4 \quad (5.3)$$

Знайшовши індекс переміщення по таблиці знаходимо $n=0.5$;

Підставивши в початкову формулу знаходимо світловий потік:

$$F = \frac{300 * 1.5 * 250 * 1.2}{0.5} = 270000\text{Лм} \quad (5.4)$$

Для освітлення вибираємо люмінесцентні лампи типа VIPET-N-LED-4800-136-4K, світловий потік яких $F = 4320\text{ Лк}$. Розрахуємо необхідну кількість ламп по формулі:

$$n = \frac{F}{F_n} \quad (5.5)$$

де – N – визначимо число ламп; F – світловий потік;

F_n – світловий потік лампи

$$n = \frac{270000}{4801} = 57\text{шт} \quad (5.6)$$

При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ОД. Кожен світильник комплектується двома лампами. Розміщуються світильники чотирма рядами, по п'ятнадцять в кожному. В даному приміщенні встановлено 60 ламп типу V-A4-210-018-6500K, які дають світловий потік 288000Лм.

Отже освітлення в даному приміщенні виконано з дотриманням вимог охорони праці, та цілком придатне для проведених робіт.

5.4 Електробезпека

В даному приміщенні становлено три експериментальних стенда, до кожного в якості робочої напруги використовується напруга змінного струму 380/220В. Всі електричні дроти захищені, також присутні вимикачі, що відключають струм у всьому приміщенні. Всі розетки мають контакт заземлення. Розподільчі щити позначені попереджувальними знаками[30].

Захисне заземлення або занулення, є основним заходом захисту металоконструкції. Основна мета цього заходу - захистити від можливого удару струмом користувача приладу при замиканні на корпус в тому випадку, наприклад поразки електричним струмом в разі замикання фазного проводу на, коли порушена ізоляція. Іншими словами, заземлення є дублером захисних функцій запобіжників. Вимоги щодо застосування занулення(рис.5.1) залежно від величини напруги і категорії приміщень за небезпекою електротравм аналогічні вимогам до застосування захисного заземлення. За величиною напруги мережі живлення застосування занулення обмежується напругою 1000 В.

Згідно з чинними нормативами можливі два варіанти реалізації занулення:

- заземлена через певні відстані (100...200 м) нейтраль мережі виконує функції нульового робочого і нульового захисного провідника одночасно;
- для занулення обладнання прокладається окремий провідник, який виконує функції тільки нульового захисного.

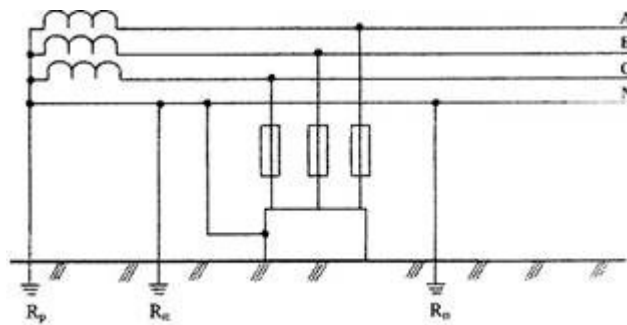


Рисунок 5.1 Схема занулення

Принцип роботи занулення: якщо напруга (фаза) потрапляє на з'єднаний з нулем металевий корпус приладу, відбувається коротке замикання. Автоматичний вимикач, включений в пошкоджену ланцюг спрацьовує від короткого замикання і відключає лінію від електрики. Крім цього, відключення електрики від лінії може виконувати плавкий запобіжник.[31]

Таким чином електрична мережа повністю придатна і безпечна для використання та проведення дослідів.

5.5 Шум

У приміщенні присутнє обладнання, яке являється джерелом шуму: електромотори, насоси, гідравлічні апарати.

Табл.5.2

Джерела шуму та їх наслідки

Джерело	Наслідки	
	Для людини	Для обладнання
Робота обладнання	- Зниження концентрації	Відсутні
Кондиціонери	- Роздратованість	
Витяжки та вентиляція	- Втолюваність	

Значення рівнів звуку та шуму згідно ДСН.3.3.6.037-99 наведені в табл.5.3

Табл.5.3

Нормативні та фактичні значення рівнів звуку та шуму

Тип	Фактичні значення	Нормативні значення
Рівень шуму, дБ	до 73	82

Максимальний рівень шуму в приміщенні не перевищує допустимого.

Табл.5.4

Заходи та засоби захисту від шуму

Вид захисту	Засоби подолання небезпеки
-------------	----------------------------

Технічні заходи	В обладнанні	Звукоізоляція вібропоглинаючим пінистим поліетиленом, 100%
	В приміщенні	Звукоізолююча конструкція вікон та звукопоглинальні покриття на стінах
Організаційні заходи		Дотримання правил експлуатації обладнання. Режимів праці та сну
ЗІЗ		Навушники

5.6 Оцінка пожежної обстановки під час аварії на вибухонебезпечному об'єкті

Причиною виникнення надзвичайної ситуації є газовий трубопровід, що проходить вздовж лабораторії на відстані 450м. Характеристика елементів лабораторії: будівля – цегляна, кабельні лінії - наземні, контрольно-вимірювальна апаратура-наявна, границя вогнетривкості несучих стін - 2.5 год.

Розрахуємо, в якій зоні знаходиться об'єкт:

Зона I:

$$R_I = 17,5 \sqrt[3]{Q} ; R_I = 17,5 \sqrt[3]{12000} = 400 \text{ м} \quad (5.7)$$

Зона II:

$$R_{II} = 1,7 R_I \quad (5.8)$$

$$R_{II} = 1,7 \cdot 400 = 680 \text{ м} \quad (5.9)$$

Розрахуємо ступінь руйнувань:

$$\sigma_{\text{ср}} = 10 \left(\frac{R_I}{R_{II}} \right)^3 + 50, \text{ кПа} \quad (5.10)$$

$$\sigma_{\text{т}} = 10 \left(\frac{400}{680} \right)^3 + 50 = 0.31, \text{кПа} \quad (5.11)$$

Таким чином, ступінь руйнування будівлі – слабкий. Наслідки вибуду: часткове руйнування внутрішніх перегородок, покрівлі, дверних і віконних коробок, легких будівель і ін. Основні несучі конструкції зберігаються. Для повного відновлення потрібен капітальний ремонт.

Будівля має III-ій ступінь вогнестійкості (будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону. Для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також плитними матеріалами. До елементів покриттів не висовуються вимоги щодо межі вогнестійкості і меж поширення вогню, при цьому елементи покриття із деревини підлягають вогнезахисній обробці).

Категорія пожежної безпеки В (приміщення, в яких знаходяться (обертаються) горючі і важкогорючі рідини, тверді горючі і важкогорючі речовини і матеріали (в тому числі пил та волокна), речовини і матеріали, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним тільки горіти).

Таким чином будівля придатна та безпечна для використання.

5.7 Пожежна безпека

Для запобігання пожежі від короткого замикання електрообладнання в приміщенні встановленні захисні автомати здатні запобігти загоранню внаслідок перевантаження та короткого замикання. Горючі та легкозаймисті матеріали в приміщенні відсутні, що зменшує вірогідність виникнення пожежі[32].

Дане приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії В (До категорії В належать паливно-мастильні склади, деревообробні цехи, склади вугілля, приміщення обчислювальних центрів, цехи складання печатних плат.) та класу пожежонебезпеки П-Па (зони приміщень, в котрих є тверді або волокнисті горючі речовини. Горючий пил і волокна не виділяються)

У випадку виникнення пожежі необхідно залишити приміщення дотримуючись плану евакуації (рис. 5.2)

Для погашення пожежі слід мати наступну кількість вогнегасників для площі приміщення 250м² та категорією будівлі В - 12 переносних вогнегасника (з газом-витискує

в балоні або закачних) з зарядом вогнегасної речовини 5 кг при класі пожежі А, (Е) приймаючи до уваги відсутність горючих газів та рідин.

Вогнегасники повинні розташовуватись кожні 5 метрів по всій довжині стін. Тобто по 5 на кожен довгу стіну та по 1 на стіни по 10м.

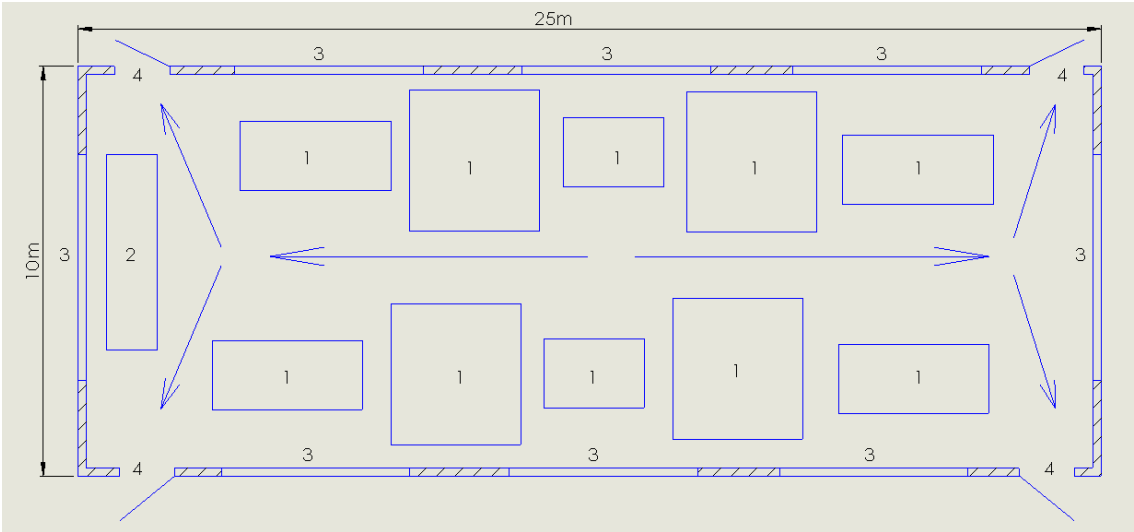


Рис 5.2 - План евакуації приміщення (1 – заводське обладнання, 2 – експирементальний стенд, 3 – вікна, 4 – виходи)

Для безпечного процесу евакуації умови евакуації мають відповідати стандартам. Значення стандартних і дійсних значень занесені до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5

Відповідність умов евакуації персоналу

Параметри	Нормативні значення	Фактичні значення
Висота дверних проходів, м	не менше 2м	2,2м
Ширина дверних проходів, м	не менше 0,8м	1,2м
Ширина проходу для евакуації, м	не менше 1м	2м

Таблиця 5.5. Продовження

Параметри	Нормативні значення	Фактичні значення
-----------	---------------------	-------------------

Ширина коридору, м	не менше 2м	2,5м
Кількість виходів, од.	4	4

Умови в даній лабораторії відповідають стандартам евакуації персоналу.

Висновки по розділу

Проаналізувавши небезпечні та шкідливі фактори в робочому приміщенні з'ясувалося, що приміщення повністю придатне для комфортного та безпечного виконання роботи. У разі вибухонебезпечної ситуації лабораторія потрапляє у зону дії вибухів продукту та матиме слабкий ступінь руйнування та може підлягати як невеликій реконструкції так і капітальному ремонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве // Труды Алт. гос. Техн. Ун-та. им. И.И.Ползунова. – Барнаул.: АлтГТУ, 2004. - 160с.
2. Екатерина А.Скиба, Владимир Н. Хмелев. Стерилизация Молока с Помощью Ультразвука, 1962, vol.7, n.319, 382-385.
3. Зверев С.В., Лобанов А.В., Макеев В.Н. Ультразвуковые гомогенизаторы в молочной промышленности // Обработка молока, 2006, вып. 8, С.22-23
4. Крусъ, Г. Н., Шалыгина, А. М., Волокитина, З. В. Методы исследования молока и молочных продуктов / под ред. А..М. Шалыгиной. – М.: Колос, 2000. – 368 с.: ил.
5. Рождественский, В.В. Кавитация / В.В. Рождественский. – Л.: Изд-во «Судостроение», 1977.– 247 с.
6. Федоткин И.М., О возможностях получения избыточной энергии при кавитации// Вісник ІХФ, 2009, видання № 1 (3).
7. Маргулис, М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция / М.А. Маргулис. - М.: Химия, 1986. - 288 с.
8. О.В. Лавриненко, Е.И. Савина, Г.В. Леонов. Моделирование механо-физикохимических эффектов в процессе схлопывания кавитационных полостей// Ползуновский вестник, 2007, издание 3.
9. Крылов А. Б. Поверхностное натяжение и связанные с ним явления : учеб-метод. пособие – Минск : БГМУ, 2008. – 32 с.
10. Л.В. Красникова, П.И. Гунькова, В.В. Маркелова. Микробиология молока и молочных продуктов: учеб-метод. пособие - Санкт-Петербург: ИТМО, 2013. – 83с.
11. А.Н.Огурцов. Биологические мембраны: учебное пособие – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 368 с.
12. В.Ф. Антонов. Биофизика мембранных процессов – учебное пособие, Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова, 1996 – 86с.
13. В.Ф. Антонов, А.М. Черны, В.И. Пасечни, С.А. Вознесенски, Е.К. Козлова. Биофизика. Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. — Б63 М.: Гуманит. изд. цент ВЛАДОС, 1999. — 288 с.
14. И. Меттер. Физическая природа кавитации и механизм кавитационных повреждений. Успехи физических наук т. xxxv, вып. 1, 1948г.

15. Луговской А.Ф. Проблемы создания технологического оборудования для ультразвукового кавитационного обеззараживания воды / А.Ф. Луговской, И.А. Гришко // В кн.: Промислова гідроліка і пневматика. – 2009. – № 4(26). – С.3-6
16. В.А. Иванов, Г.Д. Гаспарян. Математическое моделирование кавитации в процессе окорки лесоматериалов в водной среде. Системы. Методы. Технологии. 2013. – №3 (19). – С.171-178
17. Brenner, Hilgenfeldt, and Lohse. Single-bubble sonoluminescence. Department of Applied Physics and J. M. Burgers Centre for Fluid Dynamics, University of Twente, 7500 AE Enschede, The Netherlands. 2003. – P.424-472.
18. Lindau O., Lauterborn W. Investigation of the counterjet developed in a cavitation bubble that collapses near a rigid boundary. In: Fourth International Symposium on Cavitation, Pasadena, USA, June 2001 (Caltech Library System, Digital Collections).
19. Technologieanalyse Von der Kavitation zur Sonotechnologie, Technologiefrüherkennung (Band 32) Hrsg.: VDI-Technologiezentrum im Auftrag des BMBF, 2000, ISSN 1436-5928 .
20. Ohl C.D., Philipp A., Lauterborn W. Cavitation bubble collapse studied at 20 million frames per second, Ann. Physik 4, 1995. - 26-34 p.
21. Ohl C.D., Philipp A., Lauterborn W. Aufnahme des Kollapsvorganges laserinduzierter Kavitation mit 20 Millionen Bildern pro Sekunde. DAGA 94. - s. 817-820.
22. Перник А.Д. Проблемы кавитации. – Л.: Судостроение, 1966. – 438 с.
23. Луговський О.Ф. – «Підвищення ефективності апаратних засобів для реалізації ультразвукових кавітаційних технологій» – Машина та апарати хімічних виробництв, 2013р.
24. V.A. Ivanov, G.D. Gasparyan - «Cavitation mathematical simulation in the process of barking in aqueous media» - Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia.
25. А.В.Шептилевский, И.Т.Селезов, В.М.Косенков. – «Численное моделирование нелинейной динамики газовой сферической полости при ее начальных пульсациях в жидкости» - Прикладная гидромеханика, 2015. – с.73-78.
26. Дж.Лайтхилл - «Волны в жидкостях» - М.: Мир, 1981. – 598с.
27. Пат. 92987 Україна, МПК (2009): C02F 1/36 (2006.01), C02F 1/48, B 01D 19/00, A61L 2/02/ Пристрій для кавітаційної обробки рідини / О.Ф. Луговський І.А. Гришкою А.В. Мовчанюк.; заявник і патентовласник Луговський О.Ф., Гришко І.А., Мовчанюк А.В.- № а200909283; заявл. 09,09,2009, опубл. 27.12.2010, Бюл. №24

28. В. Сухенко, Ю. Сухенко, М. Муштрук – «Особливості захисту деталей харчового обладнання від корозії» - УДК 620.178.15, Національний університет біоресурсів і природокористування України.

29. Оболенцев Ю.Б., Гиндин Э.Л. Электрическое освещение общепромышленных помещений .-М.:Энергоатомиздат,1990 .-112 с.

30. Основи охорони праці: Навч. посіб. / В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко та ін .; За заг. ред. В.В.Березуцького. - 2-х вид.,перероб і доп. - Х .: Факт, 2007. - 480 с.

31. <https://studopedia.info/3-7459.html>

32. Ткачук К.Н., Зацарный В.В. и др. Охрана труда и промышленная безопасность: Учебное пособие. -Киев: Либра, 2010.- 558 с.

33. Інтернет видавництво «Что Ем» [Електронний ресурс] URL:<http://chtoem.ru/napitki/polza-i-vred-moloka.html> (дата звернення 05.05.2018).

34. Інтернет видавництво «Переработка молока» [Електронний ресурс] URL:<http://www.milkbranch.ru/publ/view/536.html> (дата звернення 05.05.2018).

35. Інтернет видавництво «Переработка молока» [Електронний ресурс] URL:<http://www.milkbranch.ru/publ/view/56.html> (дата звернення 05.05.2018).

36. Родионова А.В. Технология обеззараживания молока комплексным воздействием электромагнитных излучений разных длин волн. «Технические науки — от теории к практике»: материалы XXII международной заочной научно-практической конференции. - ФГБОУ ВПО ЧГСХА г. Чебоксары, 2013.

37. Гаврюшенко Б.С. Способ обработки молока ультрафиолетовым излучением. - Патент РФ №2263450, 2004.

38. М.Н. Рудов, М.М. Наумов, Тиндализация – перспективная технология обработки молока. Курск, 2014. – 154 с.

39. Інтернет видавництво «Переработка молока» [Електронний ресурс] URL:<http://www.milkbranch.ru/publ/view/443.html> (дата звернення 07.05.2018).

40. Гришко И.А., Новосад А.А. Проточный кавитатор с высокой интенсивностью ультразвука для обработки жидких сред. – НТУУ «КПИ» г. Київ, 2015.

41. Інтернет видавництво «КОЛО» [Електронний ресурс] URL: <https://koloro.ua/blog/issledovaniya/osobennosti-rynka-moloka-v-ukraine-proizvodstvo-i-potreblenie.html> (дата звернення 07.05.2018).

42. Інтернет видавництво «Мое здоров'я» [Електронний ресурс] URL: <https://moyezdorovya.com.ua/komu-ne-slid-piti-korovyache-moloko> (дата звернення 07.05.2018).

43. ДСТУ 2661:2010. Молоко коров'яче питне.
44. Інтернет видавництво «Укрінформ» [Електронний ресурс] URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/2248579-novij-molokovoz-iniciativa-pidpriemciv-insa-akist-moloka.html> (дата звернення 07.05.2018).
45. Інтернет видавництво «Економічна правда» [Електронний ресурс] URL: <https://www.epravda.com.ua/news/2018/04/19/636162/> (дата звернення 07.05.2018).
46. Інтернет видавництво «Helpiks» [Електронний ресурс] URL: <http://helpiks.org/3-29393.html> (дата звернення 07.05.2018).
47. Самарин Г.Н., Шилин В.А., Шилин Е.В. Альтернативные методы первичной обработки молока. - ФГБОУ ВПО «Великолукская ГСХА», Россия, г. Великие Луки, 2014.
48. Луговський О.Ф. Гришко І.А. Новосад А.А. Патент №112827 «Пристрій для ультразвукової кавітаційної обробки рідини».
49. В. П. Головенкін. За заг. ред. акад. Ю. І. Якименка. Рекомендації щодо змісту та структури магістерських дисертацій. – К.: ВПК «Політехніка», 2010. – 28 с.
50. Інтернет видавництво «Інновації молоді - машинобудуванню» [Електронний ресурс] URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2018> (дата звернення 13.05.2018).
51. Інтернет видавництво «Інновації молоді - машинобудуванню» [Електронний ресурс] URL: <http://s-konf.mmi.kpi.ua/imm2017/paper/view/7823> (дата звернення 05.05.2018).
52. Інтернет видавництво «Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления» [Електронний ресурс] URL: <https://www.gstu.by/science/conferencies/2018/1> (дата звернення 05.05.2018).
53. Інтернет видавництво «Гідромеханіка в інженерній практиці» [Електронний ресурс] URL: <http://conf.pgm.kpi.ua/2017/schedConf/presentations> (дата звернення 05.05.2018).

ДОДАТОК А. ВІДОМОСТІ ПРО БАКТЕРІЇ В МОЛОЦІ

Lactococcus lactis subspecies lactis (молочнокислый стрептококк, сокращенно *Lac. lactis*). Клетки сферические или овальные размером (0,5–1,2) (0,5–1,5) мкм, соединенные попарно (диплококки) или в виде коротких цепочек (рис. 1, а). Оптимальная температура развития составляет 28–32 С.

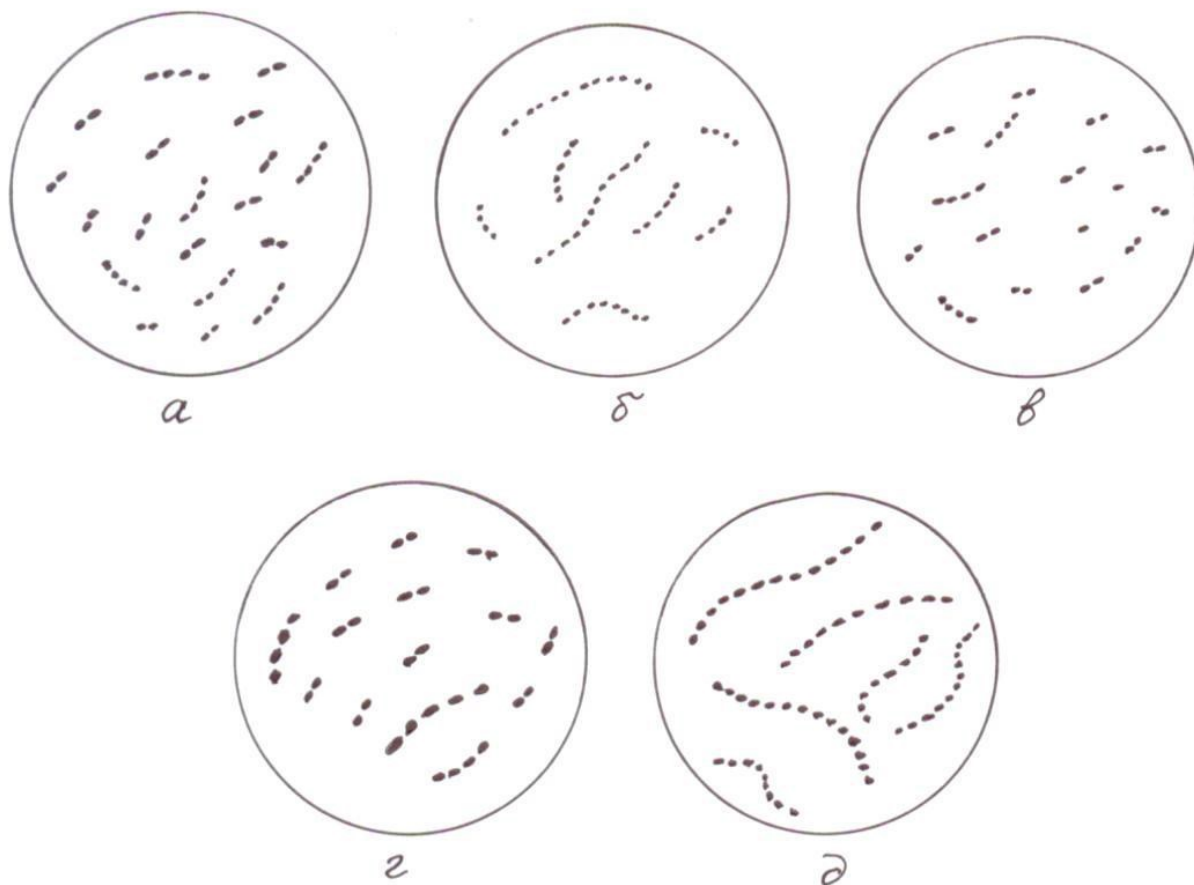


Рис. 1. Молочнокислые стрептококки и лейконостоки:

а – *Lac. lactis*; б – *Lac. cremoris*; в – *Lac. diacetylactis*;

г – *S. thermophilus*; д – *Leuc. Cremoris*

Активные штаммы этого вида свертывают молоко за 4–6 ч, образуя ровный плотный сгусток. Предельная кислотность (через 5–7 суток развития в молоке) достигает 125 Т. *Lac. lactis ssp. Lactis* восстанавливает и свертывает лакмусовое молоко, разлагает аргинин с образованием аммиака, не растет в средах с 6,5 % NaCl и в щелочной среде с pH 9,5. Штаммы этого вида входят в состав заквасок для кисломолочных напитков, творога, сметаны, кисlosливочного масла, сыров с низкой температурой второго нагревания.

Отдельные штаммы *Lac. lactis* синтезируют бактериоцин низин, обладающий антагонистической активностью по отношению к большинству грамположительных бактерий (стафилококков, микрококков, бацилл, клостридий, лактобактерий и др.). Низин используется в консервной промышленности для подавления развития спорообразующих бактерий.

Lactococcus lactis ssp. cremoris (сливочный стрептококк – *Lac. cremoris*). Клетки шаровидные, располагаются в виде коротких и длинных цепочек (см. рис. 1, б). Оптимальная температура роста 25–30 °С. Молоко свертывает за 6–8 ч, образуя плотный сгусток слегка вязкой или сметанообразной консистенции, что обусловлено способностью сливочного стрептококка синтезировать полисахариды. Предельная кислотность в молоке не превышает 110–115 Т.

Штаммы этого вида не образуют аммиак из аргинина, не растут в средах с 4 % NaCl и pH 9,5. Сливочный стрептококк используется в заквасках для сметаны, кисломолочного масла и других кисломолочных продуктов. Некоторые штаммы этого подвида синтезируют бактериоцин лактококцин.

Lactococcus lactis ssp. lactis biovar diacetylactis (ароматобразующий стрептококк – *Lac. diacetylactis*). Клетки расположены чаще всего в виде диплококков и коротких цепочек (см. рис. 1, в). Оптимальная температура роста 25–30 °С. Имеет довольно слабую кислотообразующую активность – молоко свертывает за 16–18 ч, предельная кислотность не превышает 70–100 Т. Сгусток молока плотный, часто с наличием пузырьков газа (CO₂), имеет приятный специфический запах, обусловленный накоплением диацетила. Штаммы этого вида расщепляют лактозу и цитраты с образованием диоксида углерода, диацетила и ацетоина. В утилизации цитратов участвуют два фермента – цитратпермеаза, транспортирующая цитрат в клетку через цитоплазматическую мембрану, и цитратлиаза, расщепляющая цитрат на ацетат и оксалоацетат.

Ароматобразующий стрептококк широко используется в заквасках для большинства ферментированных молочных продуктов.

Streptococcus salivarius ssp. thermophilus (термофильный стрептококк – *S. thermophilus*). Клетки имеют овальную или шаровидную форму, диаметр 0,7–1,0 мкм, часто соединены в длинные цепочки (см. рис. 1, г). Активные штаммы свертывают молоко за 3,5–4 ч при оптимальной температуре 40–42 °С. Температурный диапазон роста составляет 20–50 °С. Предельная кислотность в молоке не превышает 100–115 Т.

Термофильный стрептококк чувствителен к содержанию в среде NaCl и антибиотиков: он не растет в среде с содержанием 4 % NaCl и 0,01 МЕ/см³ пенициллина.

Термофильный стрептококк вводят в состав заквасок для производства ряженки, варенца, йогурта, сыров с высокой температурой второго нагревания.

***Leuconostoc mesenteroides ssp. cremoris* (*Leuc. cremoris*).** Клетки шаровидные или линзовидные размером (0,5–0,7) (0,7–1,2) мкм, соединены попарно или в короткие цепочки (см. рис. 1, д). Оптимальная температура роста составляет 22–25 С, минимальная – около 5 С. Молоко не свертывает, так как обладает низкой протеиназной активностью. Лейконостоки способны расти в молоке при добавлении в него ростовых факторов (дрожжевого или кукурузного экстракта). Предельная кислотность не превышает 40–50 Т. После снижения pH среды до 5,0–4,5 образует диацетил, поэтому данный вид используют в многовидовых заквасках для производства сыров и кисло-сливочного масла в сочетании с *Lac. lactis* и *Lac. cremoris*.

***Leuconostoc mesenteroides ssp. dextranicum* (*Leuc. dextranicum*).** Данный вид морфологически схож с *Leuc. cremoris*. Свертывает молоко при оптимальной температуре 22–25 С в течение трех–четырех суток. Предельная кислотность составляет 70–80 Т.

Размножение лейконостоков стимулирует добавление в среду марганца, что приводит также к повышенному синтезу метаболитов: диацетила, уксусной кислоты, диоксида углерода.

Лейконостоки входят в состав естественной микрофлоры кефирного грибка и играют большую роль в формировании его вкуса и запаха.

Многие штаммы *Leuc. dextranicum* синтезируют из сахарозы полисахарид декстран, образующий слизь.

***Pediococcus cerevisiae*.** Кокки располагаются тетрадами, парами, редко встречаются одиночные клетки. Оптимальная температура роста составляет 22–25 С, при температуре 35 С рост прекращается. Тип брожения – гомоферментативный, приводит к образованию *DL*-молочной кислоты (обычно преобладает *L*(+)-изомер). Факультативные анаэробы или микроаэрофилы.

Часто встречаются в испорченном пиве, в молочных продуктах обнаруживаются редко. Педиококки включают в состав заквасок для производства сырокопченых колбас.

***Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* (болгарская палочка, или *L. bulgaricus*).** Форма клеток в молоке – длинные и короткие палочки размером (5–20) (0,8–1,0) мкм (рис.2, а). При окрашивании препаратов из молока метиленовым синим в клетках часто наблюдаются зерна полифосфатов, иногда неравномерно окрашенные участки цитоплазмы. Оптимальная температура роста составляет 40–45 С. Молоко свертывает за 4–6 ч. Предельная кислотность молока достигает 200–350 Т. Сгусток молока может иметь

колющуюся или сильновязкую, слизистую консистенцию. Штаммы болгарской палочки образуют ацетальдегид, придающий сгустку характерный фруктовый запах.

Lactobacillus acidophilus (ацидофильная палочка). Форма клеток в молоке – длинные и короткие палочки размером 3–40 мкм и толщиной 1,0–1,5 мкм. У некоторых штаммов так же, как и у болгарской палочки, в клетках наблюдается «зернистость» (зерна полифосфатов) (см. рис. 2, б). Оптимальная температура роста составляет 37–38 °C. Молоко свертывает за 5–8 ч, предельная кислотность молока 260–280 Т. Некоторые штаммы образуют слизистый сгусток. Ацидофильная палочка является нормальным представителем кишечной микрофлоры человека и теплокровных животных. Поэтому она устойчива к щелочной реакции среды (рН 8,3); наличию в среде фенола (0,3–0,4 %) и желчи (20 %).

Ацидофильная палочка обладает высокой антагонистической активностью по отношению к гнилостной, условно-патогенной и патогенной микрофлоре. Она продуцирует два бактериоцина – ацидофилин и лактоцидин. В связи с этим *L. acidophilus* относят к ценным пробиотическим культурам.

Молочнокислые палочки данного вида применяют для приготовления ацидофилина, ацидофильного молока, детских кисломолочных продуктов.

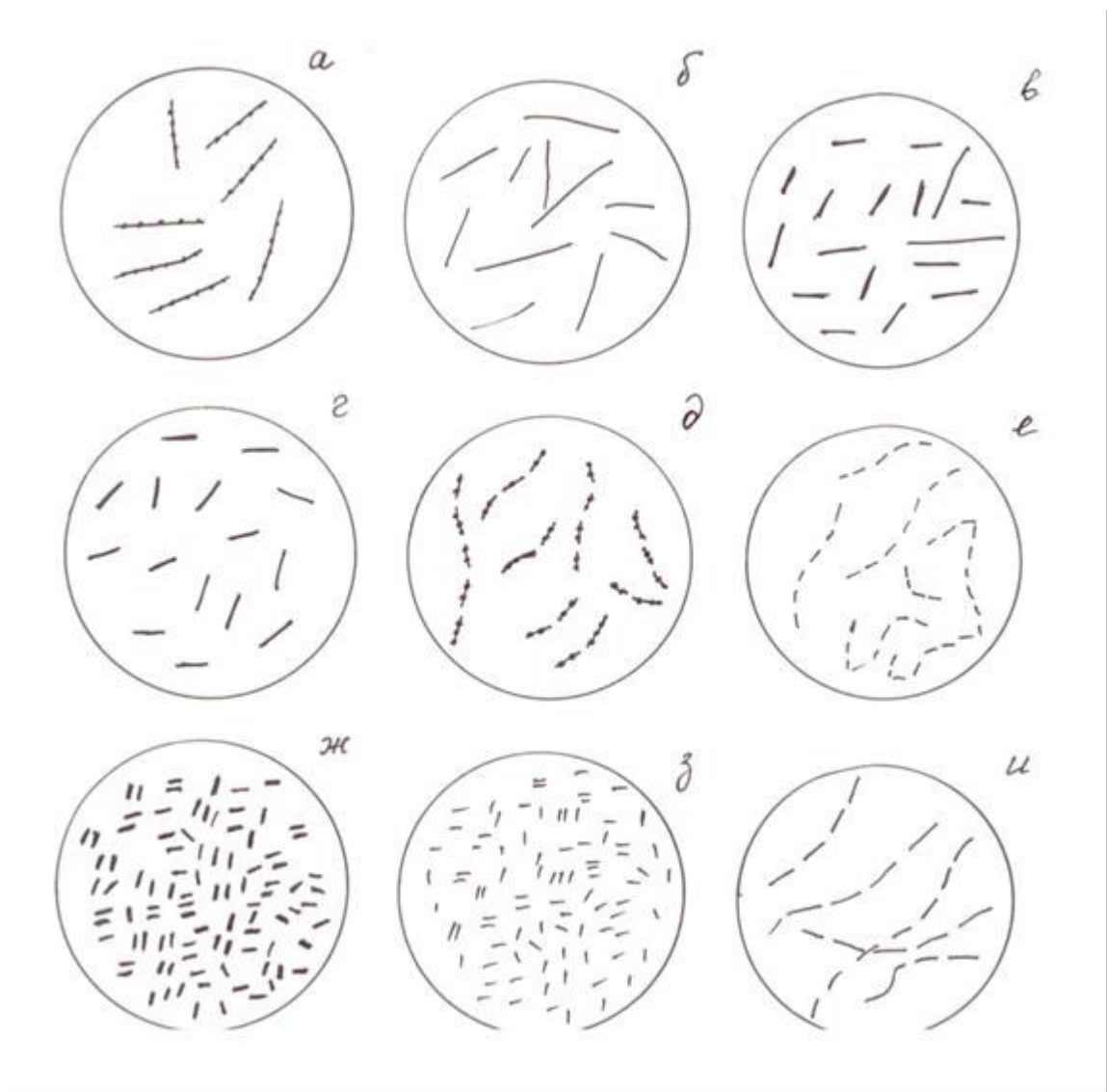


Рис. 2. Молочнокислые палочки:

а – *L. bulgaricus*; б – *L. acidophilus*; в – *L. lactis*; г – *L. helveticus*;
д – *L. rhamnosus*; е – *L. plantarum*; ж – *L. fermentum*; з – *L. brevis*; и – *L. Casei*

Lactobacillus delbrueckii ssp. lactis (молочнокислая палочка – *L. lactis*). По морфологическим и биохимическим признакам она схожа с болгарской палочкой (см. рис. 2, в). Оптимальная температура роста составляет 40–42 °C; предельная кислотность молока, сквашенного *L. lactis*, – 160–200 Т. Используется в производстве сыров с высокой температурой второго нагревания.

Lactobacillus helveticus (швейцарская палочка). Палочки имеют длину 2–6 мкм и толщину 1,0–1,5 мкм; располагаются одиночно или короткими цепочками (см. рис. 2, г). Оптимальная температура их роста равна 42–45 °C. Молоко свертывает за 5–6 ч, предельная кислотность составляет 300–350 Т. Штаммы *L. helveticus* можно выделить из сычуга телят.

Данный вид используется в заквасках для сыров с высокой температурой второго нагревания.

***Lactobacillus casei ssp. casei* (*L. casei*).** Палочки с прямоугольными концами размером (0,7–1,1) (2–4) мкм, располагающиеся чаще всего цепочками (см. рис. 2, д). Оптимальная температура роста составляет 28–32 С , при температуре 45 С рост прекращается.

***Lactobacillus casei ssp. rhamnosus* (*L. rhamnosus*).** Растут в молоке в виде коротких или длинных палочек толщиной 1,5 мкм, соединенных в цепочки. Часто обнаруживается зернистость клеток. Оптимальная температура роста составляет около 30 С. В отличие от *L. casei* способны расти при температуре 45 С, размножаться в среде с содержанием 6 % NaCl и 20 % желчи. По сравнению с мезофильными лактококками протеолитическая активность *L. rhamnosus* в два раза выше. Предельная кислотность в молоке равна 80–180 Т. Используются в заквасках для производства следующих видов сыров: эментальского, эдам, чеддер и др. Встречаются в разных видах сыров в качестве сопутствующей микрофлоры.

***Lactobacillus plantarum*.** Палочки разной длины, соединенные в длинные и короткие цепочки (см. рис. 2, е). Оптимальная температура составляет около 30 С, предельная кислотность при развитии в молоке достигает 180 Т. Играет положительную роль при созревании сыров, так как может размножаться после сбраживания лактозы заквасочной микрофлорой и при концентрации NaCl до 6 %. *L. plantarum* используется в составе заквасок для приготовления силоса, квашеной капусты. Этот вид образует пероксид водорода и синтезирует бактериоцин плантарицин – вещество, подавляющее рост маслянокислых бактерий и кишечной микрофлоры.

***Lactobacillus brevis*.** Мелкие палочки с закругленными концами размером (0,7–1,0) (2–4) мкм (см. рис. 2, ж).

Lactobacillus fermentum – толстые короткие палочки длиной 0,5–0,9 мкм.

Lactobacillus buchneri – палочки с закругленными концами размером (0,7–1,0) (2–4) мкм Палочки видов *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. buchneri* относятся к подроду *Betabacterium*. Они включены в группу облигатно-гетероферментативных молочнокислых бактерий.

Бета-бактерии не свертывают молоко, однако при добавлении к нему дрожжевого автолизата образуют сгусток, предельная кислотность которого может достигать 150–160 Т.

Сбраживают глюкозу с образованием молочной кислоты, CO₂, этанола и незначительного количества летучих кислот. Образуют

DL-изомеры молочной кислоты. Бета-бактерии участвуют в созревании сыров с низкой температурой второго нагревания, способствуя формированию рисунка и запаха сыра. Они также встречаются в строении кефирного грибка.